



# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N° 8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**EDICIÓN 2014**

Derechos Reservados

© MOP-DGOP-Dirección de Vialidad – Chile, 2014



# MANUAL DE CARRETERAS

## VOLUMEN N° 8

### ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### PRÓLOGO

Con el propósito de disponer de un documento íntegro, que facilite la consulta del Volumen N°8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”, se ha preparado esta “**Edición 2014**”, cuyo contenido base es la Edición 2013, actualizando referencias e incorporando las aclaraciones, modificaciones y nuevas disposiciones indicadas en su Complemento N°1 de enero 2014; además, se incluyen una nueva versión de la Sección 8.003, Sistema de Control de Calidad, y precisiones a los Tópicos 8.003.52, Método de Diseño de Lechadas Asfálticas, y 8.502.8, referente al cálculo del IRI.

**EDICIÓN 2014**

### EDICIÓN 2014

Esta **Edición 2014** del MC-V8 "Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control" es producto del trabajo de muchos profesionales que, a través de diversas actualizaciones o complementos editados en el tiempo, han aportado sus conocimientos, experiencias y criterios para generar esta obra, que recoge parte de la memoria institucional y de ingeniería del país en el quehacer vial.

### DICIEMBRE 2003

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA..  
REDACTORES: Ing. Roberto Alvarez W

Ing. Roberto Alvarez W.  
Ing. Javier Suarez M.  
Ing. Ricardo Salsilli M.  
Ing. Iván Navarro M..  
Ing. Guillermo Thenoux Z.  
Ing. Iván Navarro M.  
Ing. Hernán de Solminihac T.  
Ing. Claudio Fuentes L.  
Ing. Andrés Caroca B.  
Ing. Oscarina Encalada G

DIRECCION DE VIALIDAD  
REVISORES:

Ing. Sonia Morales P.

Ing. Sonia Morales P.  
Ing. Víctor Roco H.  
Ing. Gabriela Muñoz R.  
Ing. Gabriel Palma P.  
Ing. Raúl Montes S.  
Ing. Mario Fernández R.  
Ing. Renán Fuentes A.  
Ing. Ejec. Rosa Zúñiga C.  
Q. Marcela Sanhueza R.  
Ing. Víctor Reyes G.

### SEPTIEMBRE 2005

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

### MARZO 2007

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Sonia Morales P.

Ing. Víctor Roco H.

Ing. Víctor Reyes G.

### MARZO 2008

Coordinación General:  
Edición y Revisión:

Ing. Gustavo Nabalón S.  
Ing. Héctor Briones P.

Ing. Víctor Reyes G.

### JUNIO 2009

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G.  
Ing. Héctor Briones P.  
Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Renán Fuentes A.

Ing. Gabriela Muñoz R.  
Ing. Gustavo Nabalón S.  
Ing. Víctor Reyes G.  
Ing. Víctor Roco H.

Q. Marcela Sanhueza R.  
Ing. Cristian Solís Ch.  
Ing. Ejec. Rosa Zúñiga C.

### AGOSTO 2010

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Gustavo Nabalón S.  
Ing. Oscar Asenjo G.  
Ing. Hector Briones P.  
Ing. Ejec. Carlos Llanos A.

Q. Marcela Sanhueza  
Ing. Víctor Roco H.  
Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Renán Fuentes A.

Ing. Víctor Reyes G.  
CC. Carla Gómez B.

### DICIEMBRE 2010

Coordinación General:  
Edición y Revisión:

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Héctor Briones P.

Ing. Víctor Reyes G.

### DICIEMBRE 2011

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Susana Achurra T.  
Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Renán Fuentes A.  
Ing. Gustavo Nabalón S.  
Ing. Ejec. Rosa Zúñiga C.

Ing. Oscar Asenjo G.  
Ing. Claudio Dañín D.  
Ing. Ejec. Víctor Moreira S.  
Ing. Víctor Reyes G.

Ing. Héctor Briones P.  
Ing. Ejec. Alejandro González C.  
Ing. Gabriela Muñoz R.  
Ing. Víctor Roco H.

### MARZO 2012

Coordinación General:  
Edición y Revisión:

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Héctor Briones P.

Ing. Víctor Reyes G.

**ABRIL 2013**

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G.  
Ing. Renán Fuentes A.  
Ing. Víctor Reyes G.

Ing. Héctor Briones P.  
Ing. Gabriela Muñoz R.  
Ing. Víctor Roco H.

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Gustavo Nabalón S.  
Ing. Ejec. Rosa Zúñiga C.

**JUNIO 2013**

Coordinación General:  
Edición y Revisión:

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Héctor Briones P.

Ing. Víctor Reyes G.

**ENERO 2014**

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G.  
Ing. Renán Fuentes A.  
Ing. Víctor Reyes G.  
Ing. Rodrigo Uribe O.

Ing. Héctor Briones P.  
Ing. Ej. Paula Méndez P.  
Q. Marcela Sanhueza R.  
Ing. Ej. Rosa Zúñiga C.

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Gabriela Muñoz R.  
C.C. Maggie Sanz I.

**JUNIO 2014**

Coordinación General:  
Edición y Revisión:

Ing. Alberto Bull S.  
Ing. Héctor Briones P.    Ing. Jaime Carramiñana B.

Ing. Víctor Reyes G.

## MANUAL DE CARRETERAS

### VOLUMEN N°8

### ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### INTRODUCCIÓN

El Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad (MC) es un documento de carácter normativo, que sirve de guía a las diferentes acciones que son de competencia técnica del Servicio. En él se establecen políticas, criterios, procedimientos y métodos que indican las condiciones por cumplir en los proyectos viales y que guardan relación con la planificación, estudio, evaluación, diseño, construcción, seguridad, conservación, calidad e impacto ambiental.

Las disposiciones señaladas en este Manual deberán ser utilizadas tanto por los proyectistas, como por los constructores y por cualquier persona o entidad que desarrolle trabajos para la Dirección de Vialidad, o en aquellos trabajos u obras que estén bajo la supervisión de ella. A pesar de que en el Manual se describen diversos aspectos básicos relacionados con la ingeniería vial, no substituye el conocimiento cabal de las materias tratadas, como tampoco la experiencia y el buen criterio, que deben ser parte integral del arte de la ingeniería. Con él se pretende velar por la sistematización y uniformidad de criterios, considerando, cuando correspondiere, la experiencia e investigación local, con una adecuada coordinación de los diversos especialistas. Las fórmulas, gráficos y acotaciones que se incluyen tienen por objeto dar una solución rápida a los problemas habituales que se presenten, tanto en terreno como en gabinete, debiéndose recurrir a la participación de especialistas en aquellos problemas más complejos no contemplados.

Como toda ciencia, la ingeniería vial está en permanente cambio y renovación, lo que promueve innovar, mejorar, ampliar o sustituir las disposiciones contenidas en el Manual. Es por ello que la preocupación de mantenerlo al día debe ser una constante en las labores que desarrollen todos los profesionales y técnicos ligados, de una u otra forma, al quehacer de la Dirección de Vialidad.

Sin embargo, como cuestión de procedimiento y ordenamiento general, todos los cambios que se propongan en el sentido indicado deben ser presentados formal y fundamentadamente a la instancia respectiva de la Dirección de Vialidad. Ésta los analizará y, si correspondiere, resolverá su incorporación en el nivel que corresponda, sea como caso particular en una obra o proyecto específico, o como una disposición de carácter general.

La estructura del Manual está conformada por nueve volúmenes, acordes con las diferentes etapas y/o especialidades involucradas. Ellos son los siguientes:

- Volumen N° 1 (MC-V1) : Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial (tres tomos)
- Volumen N° 2 (MC-V2) : Procedimientos de Estudios Viales
- Volumen N° 3 (MC-V3) : Instrucciones y Criterios de Diseño
- Volumen N° 4 (MC-V4) : Planos de Obras Tipo
- Volumen N° 5 (MC-V5) : Especificaciones Técnicas Generales de Construcción
- Volumen N° 6 (MC-V6) : Seguridad Vial
- Volumen N° 7 (MC-V7) : Mantenimiento Vial
- Volumen N° 8 (MC-V8) : Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control
- Volumen N° 9 (MC-V9) : Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales

El presente Volumen N°8, Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control, define la normativa adoptada por la Dirección de Vialidad para establecer las características de los materiales que se utilizan en la construcción de caminos, y determina los procedimientos con que deben extraerse muestras, los métodos para ensayarlas y los procedimientos para el control de la calidad.



# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **INDICE GENERAL**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



## MANUAL DE CARRETERAS

### VOLUMEN 8

#### ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### ÍNDICE GENERAL

#### INTRODUCCIÓN

#### CAPITULO 8.000 ANTECEDENTES GENERALES

#### SECCIÓN 8.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN

#### SECCIÓN 8.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN

#### SECCIÓN 8.003 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

##### 8.003.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

##### 8.003.2 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL AUTOCONTROL

##### 8.003.3 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO ITO (LI)

##### 8.003.4 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS LABORATORIOS REGIONALES

##### 8.003.5 FUNCIONES DEL LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD

##### 8.003.6 (EN BLANCO)

##### 8.003.7 PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

##### 8.003.8 (EN BLANCO)

##### 8.003.9 (EN BLANCO)

##### 8.003.10 (EN BLANCO)

##### 8.003.11 MÉTODO DE COMPARACIÓN DE ENSAYES DE CONTROL DE CALIDAD Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

##### 8.003.12 REGLAMENTO PARA LA CAPACITACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LABORATORISTAS VIALES

#### SECCIÓN 8.004 GLOSARIO DE TÉRMINOS

#### SECCIÓN 8.005 SISTEMA DE UNIDADES

##### 8.005.1 SÍMBOLOS DE LAS UNIDADES

##### 8.005.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES

#### CAPÍTULO 8.100 SUELOS

#### INTRODUCCIÓN

#### SECCIÓN 8.101 ESPECIFICACIONES PARA SUELOS

##### 8.101.1 SUELOS: ESPECIFICACIONES PARA SUBBASES, BASES Y CAPAS DE RODADURA

#### SECCIÓN 8.102 MÉTODOS PARA SUELOS

##### 8.102.1 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA

##### 8.102.2 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

##### 8.102.3 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO

##### 8.102.4 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL LIMITE PLÁSTICO

##### 8.102.5 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

##### 8.102.6 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN HUMEDAD/DENSIDAD - ENSAYE PROCTOR NORMAL

##### 8.102.7 SUELOS: MÉTODO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN HUMEDAD/DENSIDAD-ENSAYE PROCTOR MODIFICADO

- 8.102.8 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA EN SUELOS NO COHESIVOS
- 8.102.9 SUELOS: METODO DEL CONO DE ARENA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD EN TERRENO
- 8.102.10 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS
- 8.102.11 SUELOS: METODO DE ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)
- 8.102.12 SUELOS: METODO DE ENSAYE CON PENETROMETRO DINAMICO DE CONO PORTATIL.
- 8.102.13 SUELOS: METODO DE ENSAYE DE PLACA DE CARGA REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)
- 8.102.14 SUELOS: METODO DE ENSAYE DE PLACA DE CARGA NO REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)
- 8.102.15 SUELOS: METODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO
- 8.102.16 SUELOS: METODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO
- 8.102.17 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACION EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO
- 8.102.18 SUELOS: METODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUIMICOS

## CAPITULO 8.200 – AGREGADOS PETREOS

### INTRODUCCION

#### SECCION 8.201 ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS PETREOS

- 8.201.1 AGREGADOS PETREOS: ESPECIFICACIONES GENERALES DE ARIDOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES

#### SECCION 8.202 METODOS PARA AGREGADOS PETREOS

- 8.202.1 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS
- 8.202.2 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS
- 8.202.3 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRIA
- 8.202.4 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,080 mm
- 8.202.5 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DEL FILLER
- 8.202.6 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTICULAS
- 8.202.7 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE LAJAS
- 8.202.8 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE TRITURACION
- 8.202.9 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA
- 8.202.10 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION DE HUECOS
- 8.202.11 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
- 8.202.12 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMETRICO MEDIO DE LOS PETREOS GRUESOS
- 8.202.13 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE ESPECIFICA
- 8.202.14 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES
- 8.202.15 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION COLORIMETRICA DE IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS PARA HORMIGONES .
- 8.202.16 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTICULAS DESMENUZABLES

- 8.202.17 AGREGADOS PETREOS: METODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACION
- 8.202.18 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS
- 8.202.19 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE
- 8.202.20 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS GRUESOS
- 8.202.21 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS FINOS
- 8.202.22 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL.

## CAPITULO 8.300 ASFALTOS

### INTRODUCCION

#### SECCION 8.301 ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS

- 8.301.1 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS SEGUN GRADO DE VISCOSIDAD
- 8.301.2 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO RAPIDO
- 8.301.3 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURAD MEDIO
- 8.301.4 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS
- 8.301.5 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS
- 8.301.6 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLIMEROS
- 8.301.7 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES MODIFICADAS CON POLIMEROS
- 8.301.8 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFALTICOS
- 8.301.9 ASFALTOS: ESPECIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PREDOSIFICADAS PARA BACHEO

#### SECCION 8.302 METODOS PARA ASFALTOS

- 8.302.1 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO
- 8.302.2 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
- 8.302.3 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PENETRACION
- 8.302.4 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE DESTILACION PARA ASFALTOS CORTADOS
- 8.302.5 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE PARA EMULSIONES
- 8.302.6 (EN BLANCO)
- 8.302.7 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE LA MANCHA
- 8.302.8 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD
- 8.302.9 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACION Y COMBUSTION MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND
- 8.302.10 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACION MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG
- 8.302.11 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGANICOS
- 8.302.12 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT
- 8.302.13 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMATICA
- 8.302.14 ASFALTOS: METODO PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMATICA A SAYBOLT UNIVERSAL Y A SAYBOLT FUROL
- 8.302.15 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINARLA VISCOSIDAD MEDIANTE VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO

- 8.302.16 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA
- 8.302.17 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS
- 8.302.18 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TERMICA MEDIANTE EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM
- 8.302.19 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE RECUPERACION ELASTICA PARA ASFALTOS MODIFICADOS
- 8.302.20 ASFALTOS: METODOS DE ENSAYE PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT.
- 8.302.21 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE PENETRACION EN ASFALTOS MODIFICADOS
- 8.302.22 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE MEDICION DE PROPIEDADES REOLOGICAS MEDIANTE EL REOMETRO DE CORTE DINAMICO
- 8.302.23 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFALTICOS EN CAMARA A PRESION (PAV)
- 8.302.24 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD
- 8.302.25 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXION A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REOMETRO DE VIGA DE FLEXION
- 8.302.26 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA DEFORMACION A LA ROTURA EN EL ENSAYE DE TRACCION DIRECTA
- 8.302.27 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO DE MEZCLAS
- 8.302.28 ASFALTOS: METODO PARA ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION
- 8.302.29 ASFALTOS: METODO ESTATICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE ASFALTICO
- 8.302.30 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFALTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER)
- 8.302.31 ASFALTOS: METODO DINAMICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE
- 8.302.32 (EN BLANCO)
- 8.302.33 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PELICULA DELGADA ROTATORIA
- 8.302.34 ASFALTOS: METODO ABSON PARA LA RECUPERACION DE ASFALTO
- 8.302.35 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE MEDIANTE EL EQUIVALENTE CENTRIFUGO DE KEROSENE (ECK)
- 8.302.36 ASFALTOS: METODO PARA SEPARAR EL LIGANTE DE UNA MEZCLA ASFALTICA O TESTIGO, POR CENTRIFUGACION, PARA POSTERIOR ENSAYE DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO
- 8.302.37 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MAXIMA DE MEZCLAS ASFALTICAS SIN COMPACTAR
- 8.302.38 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS
- 8.302.39 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLATILES EN MEZCLAS ASFALTICAS
- 8.302.40 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL
- 8.302.41 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFALTICAS COMPACTADAS
- 8.302.42 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DEFORMACION EN MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO LA MAQUINA DE AHUELLAMIENTO
- 8.302.43 ASFALTOS: METODO SCHULZE-BREUER Y RUCK PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD FILLER-LIGANTE ASFALTICO.
- 8.302.44 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES
- 8.302.45 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LECHADAS ASFALTICAS
- 8.302.46 ASFALTOS: METODO DE ABRASION EN MEDIO HUMEDO PARA LECHADAS ASFALTICAS
- 8.302.47 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO MARSHALL
- 8.302.48 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS

- 8.302.49 ASFALTOS: MÉTODO THOMAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO
- 8.502.50 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
- 8.302.51 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN
- 8.302.52 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN FRÍO
- 8.302.53 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA
- 8.302.54 ASFALTOS: MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYE CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE
- 8.302.55 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYE CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE
- 8.302.56 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN
- 8.302.57 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS
- 8.302.58 ASFALTOS: MÉTODO DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN
- 8.302.59 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE ADHERENCIA ENTRE AGREGADOS PÉTREOS Y LIGANTE ASFÁLTICO, EMPLEANDO EL MÉTODO DEL HERVIDO
- 8.302.60 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE COHESIÓN DE MEZCLA EN FRÍO PARA BACHEO
- 8.302.61 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD RETENIDA MARSHALL DE MEZCLAS EN FRÍO PARA BACHEO
- 8.302.62 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE TRABAJABILIDAD DE MEZCLAS EN FRÍO PARA BACHEO

## CAPÍTULO 8.400 HORMIGONES

### INTRODUCCIÓN

#### SECCIÓN 8.401 ESPECIFICACIONES DE HORMIGONES

- 8.401.1 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA EL AGUA DE AMASADO
- 8.401.2 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA LOS COMPUESTOS LÍQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANAS DE CURADO

#### SECCIÓN 8.402 MÉTODOS PARA HORMIGONES

- 8.402.1 HORMIGONES: MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO
- 8.402.2 HORMIGONES: MÉTODO DE ENSAYE DEL AGUA DE AMASADO
- 8.402.3 HORMIGONES: MÉTODOS DE ENSAYE PARA COMPUESTOS LÍQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANA DE CURADO
- 8.402.4 HORMIGONES: MÉTODO DE MUESTREO DEL AGUA DE AMASADO
- 8.402.5 HORMIGONES: MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO
- 8.402.6 HORMIGONES: MÉTODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO
- 8.402.7 HORMIGONES: MÉTODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS
- 8.402.8 HORMIGONES: MÉTODO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN PARA ENSAYE DE TESTIGOS CILÍNDRICOS
- 8.402.9 HORMIGONES: MÉTODO PARA CONFECCIONAR Y CURAR EN OBRA PROBETAS DE HORMIGÓN FRESCO
- 8.402.10 HORMIGONES: MÉTODO PARA REFRENTAR PROBETAS
- 8.402.11 HORMIGONES: MÉTODO DE ENSAYE A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS
- 8.402.12 HORMIGONES: MÉTODO DE ENSAYE A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS
- 8.402.13 HORMIGONES: MÉTODO DE ENSAYE A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS

**8.402.14 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE ESCLEROMETRICO EN EL HORMIGON ENDURECIDO.**

**8.402.15 HORMIGONES: METODO DE PREPARACION DE MEZCLAS DE PRUEBA EN LABORATORIO**

## **CAPITULO 8.500 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**

### **INTRODUCCION**

**SECCION 8.501 ESPECIFICACIONES PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES.**

**SECCION 8.502 METODOS PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES.**

**8.502.1 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL)**

**8.502.2 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL)**

**8.502.3 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE EXTRACCION DE TESTIGOS.**

**8.502.4 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE HI-LO**

**8.502.5 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (FWD)**

**8.502.6 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES ELASTICAS DE LOS PAVIMENTOS A PARTIR DE LA DEFLECTOMETRIA DE IMPACTO (FWD).**

**8.502.7 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE DEFLEXION CORRESPONDEN A LA MISMA POBLACION**

**8.502.8 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE PERFILOMETRIA LONGITUDINAL**

**8.502.9 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE CAPAS ASFALTICAS**

**8.502.10 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MEZCLA**

**8.502.11 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO.**

**8.502.12 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL ESCALONAMIENTO**

**8.502.13 (EN BLANCO)**

**8.502.14 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYE DEL CIRCULO DE ARENA**

**8.502.15 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DE LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE PERFILOMETRIA LASER**

**8.502.16 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL)**

**8.502.17 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM**

**8.502.18 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES : METODO PARA LA MEDICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIDOS CON EQUIPO GRIPTESTER**

**8.502.19 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE HOMOLOGACIÓN DE MEDICIONES DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y MACROTEXTURA**

**8.502.20 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICION DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

## **CAPITULO 8.600 SEGURIDAD VIAL**

### **INTRODUCCION**

#### **SECCION 8.601 ESPECIFICACIONES PARA SEGURIDAD VIAL**

**8.601.1 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.601.2 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

#### **SECCION 8.602 METODOS PARA SEGURIDAD VIAL**

**8.602.1 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO EN ENVASE DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.2 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL PODER CUBRIDOR EN PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.3 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA MATERIA NO VOLATIL EN MASA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.4 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA (VISCOSIDAD) DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.5 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.6 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL SANGRADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.7 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE RESISTENCIA AL FLUJO DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.8 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR Y FACTOR DE LUMINANCIA DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.9 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE INFLAMACION DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.10 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD AL CALOR DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.11 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.12 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA ENSAYE DE FLEXIBILIDAD MEDIANTE MANDRIL CILINDRICO PARA PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.13 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE MICROESFERAS DE VIDRIO DEFECTUOSAS**

**8.602.14 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE LA RESISTENCIA DE MICROESFERAS DE VIDRIO A LOS AGENTES QUIMICOS**

**8.602.15 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE REFRACCION DE MICROESFERAS DE VIDRIO**

**8.602.16 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD DIURNA DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.17 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD NOCTURNA (RETROREFLECTANCIA) DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.18 SEGURIDAD VIAL: METODO DE MUESTREO Y CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.19 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE SECADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**8.602.20 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA REFLECTANCIA DE LAS TACHAS REFLECTANTES**

**8.602.21 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR DE LAS TACHAS REFLECTANTES**

**8.602.22 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESPRENDIMIENTO DE TACHAS REFLECTANTES**

**8.602.23 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TACHAS REFLECTANTES**

**8.602.24 (EN BLANCO)**

**8.602.25 (EN BLANCO)**

**8.602.26 (EN BLANCO)**

**8.602.27 (EN BLANCO)**

- 8.602.28 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION A LA ABRASION SECA A MATERIALES DE SEÑALIZACIÓN VIAL HORIZONTAL
- 8.602.29 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA DE PRODUCTOS DE DEMARCACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.30 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA PRODUCTOS TERMOPLASTICOS DE APLICACION EN CALIENTE PARA DEMARCACION VIAL HORIZONTAL

## **CAPITULO 8.700 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

### **INTRODUCCION**

#### **SECCION 8.701 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

- 8.701.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON DE APLICACION EN FRIO
- 8.701.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO DE APLICACION EN CALIENTE
- 8.701.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON
- 8.701.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE, PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO

#### **SECCION 8.702 METODOS PARA PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

- 8.702.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON DE APLICACION EN FRIO
- 8.702.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO APLICADOS EN CALIENTE
- 8.702.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON
- 8.702.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO

## MANUAL DE CARRETERAS

### VOLUMEN 8

#### ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### INDICE GENERAL DE LAMINAS

#### CAPITULO 8.000

- 8.003.5.A ACTA DE REUNION DE APERTURA DE LABORATORIO OBRAS CON ASESORIA A LA INSPECCION FISCAL
- 8.003.5.B ACTA DE REUNION DE APERTURA DE LABORATORIO OBRAS SIN ASESORIA A LA INSPECCION FISCAL

#### CAPITULO 8.100

- 8.102.1.A FORMULARIO TIPO GRANULOMETRIA DE SUELOS
- 8.102.3 A APARATO DE LIMITE LIQUIDO
- 8.102.3 B SECCION DE LA RANURA EN LA PASTA DE SUELO ANTES Y DESPUES DEL ENSAYE. ACANALADORES
- 8.102.4 A FORMATO TIPO FICHA DE ENSAYE DETERMINACION DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO
- 8.102.5 A PLACA DE VIDRIO Y DETERMINACION DEL VOLUMEN DE SUELO SECO
- 8.102.6.A MOLDE DE 100 mm DE DIAMETRO NOMINAL
- 8.102.6.B MOLDE DE 150 mm DE DIAMETRO NOMINAL
- 8.102.8.A CONJUNTO DE APARATOS (CON MOLDE DE 2,8 LITROS)
- 8.102.8.B DETALLE DE MOLDES
- 8.102.8.C DETALLES
- 8.102.8.D PLACA BASE Y SOBRECARGA
- 8.102.9.A ESQUEMA DE CONO CONVENCIONAL (6")
- 8.102.9.B ESQUEMA DE MACROCONO (12")
- 8.102.9.C FORMATO TIPO DENSIDAD EN TERRENO
- 8.102.11.A APARATO CBR
- 8.102.11.B CORRECCION DE CURVAS TENSION-PENETRACION
- 8.102.11.C CBR – DENSIDAD SECA
- 8.102.12.A(1) CONO DE PENETRACION DINAMICA ESQUEMA GENERAL
- 8.102.12.A(2) CONO DE PENETRACION DINAMICA
- 8.102.12.A(3) CONO DE PENETRACION DINAMICA
- 8.102.12.A(4) CONO DE PENETRACION DINAMICA
- 8.102.12.A(5) CONO DE PENETRACION DINAMICA
- 8.102.12.B FORMULARIO TIPO CONO DE PENETRACION DINAMICA PORTATIL DATOS DE TERRENO Y CORRELACION CON EL CBR
- 8.102.12.C CURVA PDCP. REPRESENTACION DEL NUMERO DE GOLPES EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD
- 8.102.12.D REPRESENTACION DE LA VARIACION DEL INDICE DE PENETRACION CON LA PROFUNDIDAD
- 8.102.12.E CURVA BALANCE ESTRUCTURAL
- 8.102.12.F CURVA BALANCE ESTANDARD
- 8.102.14.A CORRECCION CURVA PRESION – DEFORMACION
- 8.102.14.B CORRECCION DE  $K_u$  POR DEFORMACION DE PLACA
- 8.102.17.A3.A METODO DE NEUTRALIZACION Y TITULACION , FIG 1 DOSIS DE ACIDO CLORHIDRICO; FIG 2 CURVA PATRON
- 8.102.17.A3.B METODO DE NEUTRALIZACION

**CAPITULO 8.200**

- 8.202.2.A CUARTEO DE MUESTRAS
- 8.202.2.B CUARTEADOR
- 8.202.8.A FIG. 1 CILINDRO DE ACERO PARA ARIDOS GRUESOS; FIG. 2 MAQUINA DE IMPACTO PARA ARIDOS FINOS
- 8.202.9.A FIG. 1 PROBETA GRADUADA; FIG. 2 PISON; FIG. 3 SIFON
- 8.202.11.A MAQUINA DE LOS ANGELES
- 8.202.22.A MAQUINA DE ABRASION MICRO-DEVAL Y TIESTO
- 8.202.22.B CARTA DE TENDENCIA PARA CONTROL DE AGREGADO DE REFERENCIA

**CAPITULO 8.300**

- 8.302.1.A TUBO MUESTREADOR
- 8.302.1.B MUESTREADOR DE ENVASE DESECHABLE
- 8.302.1.C DISPOSITIVOS TÍPICOS SUMERGIDOS DE MUESTREO DE ASFALTO
- 8.302.1.D MUESTREADOR DE INMERSIÓN
- 8.302.1.E DISPOSITIVO TÍPICO PARA MUESTREAR ASFALTOS LIQUIDOS DE LOS TRANSPORTES
- 8.302.2.A PICNOMETROS
- 8.302.4.A FIG. 1 MATRAZ DESTILADOR, FIG. 2 CAMISA PROTECTORA
- 8.302.4.B FIG. 1 APARATO DE DESTILACION, FIG. 2 PROBETAS GRADUADAS
- 8.302.5.A DESTILADOR
- 8.302.5.B FIG. 1 ANILLO QUEMADOR CON UN DI DE 125 mm; FIG. 2 ENSAMBLE DEL APARATO DE DESTILACION PARA EL ENSAYE DE EMULSIONES ASFALTICAS
- 8.302.5.C FIG. 1 ENSAYADOR CARGA DE PARTICULA; FIG. 2 DIAGRAMA DE CIRCUITO DE TESTER PARA CARGA DE PARTICULA.
- 8.302.5.D FIG. 1 ESTANQUE DE FLUJO CON CARGA HIDROSTATICA CONSTANTE; FIG. 2 VALVULA Y ENSAMBLE DE LA BOQUILLA PARA EL ESTANQUE CON CARGA HIDROSTATICA DE FLUJO CONSTANTE
  
- 8.302.8.A FIG. 1 MOLDE PARA DUCTILIDAD DE MUESTRA DE ENSAYE; FIG. 2 MOLDE PARA ENSAYE DE DUCTILIDAD.
- 8.302.9.A COPA ABIERTA DE CLEVELAND
- 8.302.9.B FIG. 1 PLACA DE CALENTAMIENTO; FIG. 2 COPA ABIERTA DE CLEVELAND; FIG. 3 MEDIDOR DEL NIVEL DE LLENADO
- 8.302.10.A COPA ABIERTA TAG PARA PUNTO DE INFLAMACION
- 8.302.10.B FIG. 1 COPA PARA ENSAYE DE VIDRIO; FIG. 2 CALIBRACION DEL NIVEL DE LLENADO.
- 8.302.11.A APARATO DE FILTRACION
- 8.302.12.A VISCOSIMETRO SAYBOLT CON ORIFICIO UNIVERSAL Y FUROL
- 8.302.12.B FIG. 1 TUBO SUCCIONADOR PARA USAR CON VISCOSIMETRO SAYBOLT; FIG. 2 SOPORTE DEL TERMOMETRO; FIG. 3 EMBUDO FILTRO PARA USAR CON VISCOSIMETRO SAYBOLT; FIG. 4 FRASCO RECIBIDOR
- 8.302.13.A CANNON FENSKE OPAQUE VISCOSIMETRO PARA LIQUIDOS OPACOS Y TRANSPARENTES
- 8.302.13.B ZEITFUCHS CROSS-ARM VISCOSIMETRO PARA LIQUIDOS OPACOS Y TRANSPARENTES
- 8.302.13.C LANTZ-ZEITFUCHS TIPO FLUJO REVERSO, VISCOSIMETRO PARA LIQUIDO OPACO
- 8.302.13.D BS/IP/RF U-TUBO FLUJO REVERSO, VISCOSIMETRO PARA LIQUIDOS OPACOS
- 8.302.15.A FIG. 1 SISTEMA ESENCIAL DE VACIO; FIG. 2 VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO CANNON-MANNING; FIG. 3 VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.; FIG. 4 VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO KOPPERS MODIFICADO
- 8.302.16.A ANILLO, PORTA-ANILLO, GUIA PARA CENTRAR LA BOLA Y ENSAMBLE DEL APARATO MOSTRANDO DOS ANILLOS
- 8.302.17.A APARATO FRAASS
- 8.302.17.B MECANISMO DE FLEXION

8.302.18.A	<b>NOMOGRAMA DE HEUKELOM</b>
8.302.18.B	<b>REPRESENTACION DE LOS TIPOS DE LIGANTE EN EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM</b>
8.302.19.A	<b>FIG. 1 MOLDE PARA ENSAYE DE RECUPERACION ELASTICA; FIG. 2 ESQUEMA DE ENSAYE RECUPERACION ELASTICA</b>
8.302.20.A	<b>RODILLO DE COMPACTACION</b>
8.302.20.B	<b>DISPOSITIVO PARA EL ENSAYE CON PLACA VIALIT</b>
8.302.21.A	<b>NOMOGRAMA DE HEUKELOM BITUMEN TEST DATE CHART</b>
8.302.22.A	<b>ENSAYE DE BARRIDO</b>
8.302.23.A	<b>ESQUEMA DE LA CONFIGURACION TIPICA DE UN SISTEMA DE ENSAYE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN CAMARA DE PRESION</b>
8.302.23.B	<b>DIAGRAMA QUE MUESTRA LA UBICACION DE LAS BANDEJAS Y RTD DENTRO DE LA CAMARA DE PRESION</b>
8.302.25.A	<b>ESQUEMA DEL REOMETRO DE VIGA DE FLEXION</b>
8.302.25.B	<b>DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES PARA LOS MOLDES DE ALUMINIO</b>
8.302.25.C	<b>ESTANDAR DE ESPESORES TIPICOS, USADO PARA CALIBRAR EL SENSOR DE DEFLEXION</b>
8.302.25.A1.A	<b>TEST INFORMACION</b>
8.302.25.A1.B	<b>ENSAYE DE CREEP EN FLEXION A BAJAS TEMPERATURAS</b>
8.302.26.A	<b>GEOMETRIA DE ENSAYE DE TRACCION DIRECTA</b>
8.302.26.B	<b>TRACCION DIRECTA</b>
8.302.26.C	<b>TRACCION DIRECTA</b>
8.302.26.D	<b>MOLDE PARA PROBETA, ENSAYE DE TRACCION DIRECTA</b>
8.302.33.A	<b>MEDIDOR DE FLUJO. VISTA DEL FLUJO DE AIRE</b>
8.302.33.B	<b>MEDIDOR DE FLUJO CARRO CIRCULAR METALICO</b>
8.302.33.C	<b>FRASCO CONTENEDOR</b>
8.302.34.A	<b>EQUIPO DE DESTILACION PARA RECUPERAR ASFALTO</b>
8.302.35.A	<b>FIG. 1 ABACO PARA CALCULAR <math>K_f</math> A PARTIR DE ECK; FIG. 2 ABACO DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO <math>K_c</math>.</b>
8.302.35.B	<b>FIG. 3 ABACO PARA COMBINAR <math>K_f</math> y <math>K_c</math> PARA DETERMINAR <math>K_m</math>; Fig. 4 ABACO PARA CALCULAR LA RAZON DE ACEITE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS DENSAS.</b>
8.302.36.A	<b>BOL TIPO PARA SEPEARACION DE LIGANTE</b>
8.302.39.A	<b>TRAMPA PARA DETERMINAR LAS FRACCIONES VOLATILES DEL BITUMEN</b>
8.302.40.A	<b>APARATO DE MARSHALL; FIG. 1 MOLDE DE COMPACTACION; FIG. 2 MARTILLO DE COMPACTACION</b>
8.302.40.B	<b>APARATO DE MARSHALL. MORDAZA</b>
8.302.42.A	<b>MOLDE</b>
8.302.42.B	<b>ANGULARES Y COLLARIN</b>
8.302.42.C	<b>BASE DE COMPACTACION</b>
8.302.42.D	<b>ELEMENTO COMPACTADOR</b>
8.302.42.E	<b>APARATOS DE EXTENSION Y ENRASE</b>
8.302.42.F	<b>MAQUINA DE ENSAYE</b>
8.302.42.G	<b>MAQUINA DE ENSAYE</b>
8.302.42.H	<b>CAMARA TERMOESTATIZADA</b>
8.302.44.A	<b>PERMEAMETRO, L.C.S.</b>
8.302.45.A	<b>PLACA DE ESCURRIMIENTO PARA ENSAYE DE CONSISTENCIA</b>
8.302.46.A	<b>CONJUNTO DE ABRASION</b>
8.302.53.A	<b>MAQUINA PARA ENSAYE DE RUEDA CARGADA</b>
8.302.57.A	<b>MEDIDA CILINDRICA – 100ml Nominal</b>
8.302.57.B	<b>DISPOSITIVO DE SOPORTE APROPIADO PARA EL EMBUDO CON LA MEDIDA CILINDRICA EN POSICION</b>

- 8.302.58.A ESQUEMA APARATO DE DESTILACION MEDIANTE COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO
- 8.302.58.B ESQUEMA DE APARATO DE DESTILACION MEDIANTE DESTILADOR ROTATORIO
- CAPITULO 8.400**
- 8.402.1.A MATRAZ LE CHATELIER PARA ENSAYE DE DENSIDAD
- 8.402.7.A MOLDE PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO
- 8.402.7.B DESARROLLO DEL MOLDE – MEDIDA DEL ASENTAMIENTO
- 8.402.10.A APARATOS PARA REFRENTAR PROBETAS
- 8.402.11.A DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE PROBETAS
- 8.402.12.A ESQUEMA DE ENSAYES DE TRACCION POR FLEXION
- 8.402.13.A DISPOSITIVO DE TRAZADO
- 8.402.13.B DISPOSITIVO DE ALINEACION
- CAPITULO 8.500**
- 8.502.1.A SOPORTE METALICO TIPICO, 25 x 25 X 3 mm
- 8.502.3.A ESQUEMA GENERAL DE UNA TESTIGUERA DE ALTO RENDIMIENTO (VISTA LATERAL)
- 8.502.3.B TESTIGUERA PORTATIL
- 8.502.3.C FORMULARIO TIPO EXTRACCION DE TESTIGOS
- 8.502.4.A DETECTOR HI-LO
- 8.502.4.B FORMULARIO TIPO CALCULO DE AREAS CON FALLAS DE LISURA
- 8.502.4.C FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE LISURA MEDIANTE HI-LO PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS
- 8.502.4.D FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE LISURA MEDIANTE HI-LO PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON
- 8.502.8.A FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE IRI MEDIANTE PERFILOMETRO
- 8.502.8.B EJEMPLO DE CALCULO MULTAS POR INCUMPLIMIENTO DE IRI
- 8.502.11.A FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE AHUELLAMIENTO
- 8.502.12.A FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE ESCALONAMIENTO
- 8.502.14.A APARATO PARA MEDIR PROFUNDIDAD DE MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO
- 8.502.15.A PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DEL SEGMENTO
- 8.502.16.A PENDULO DEL TRRL
- 8.502.16.B DETALLE DEL BRAZO DEL PENDULO
- 8.502.16.C DETALLE DE LA DISPOSICION DE LA ZAPATA DE GOMA
- 8.502.16.D ZAPATA DE GOMA
- 8.502.16.E DETALLE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DEL PENDULO
- 8.502.16.F DETALLE DEL MECANISMO DE SUSPENSION DEL PENDULO
- 8.502.16.G REGLA GRADUADA PARA AJUSTAR LA LONGITUD DE MEDIDA SOBRE LA SUPERFICIE DE ENSAYE
- 8.502.16.H CORRECCION A APLICAR AL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO A DISTINTAS TEMPERATURAS PARA OBTENER EL VALOR CORRESPONDIENTE A 20 °C
- CAPITULO 8.600**
- 8.602.4.A VISCOSIMETRO STORMER
- 8.602.4.B ROTOR DEL VISCOSIMETRO STORMER
- 8.602.9.A POSICION DE RETRORREFLECTOR PARA ENSAYAR
- 8.602.9.B PLACA DE CALENTAMIENTO
- 8.602.9.C VASO CLEVELAND
- 8.602.11.A CURVA DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ESPECTRAL
- 8.602.11.B APARATO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO
- 8.602.11.C ESQUEMA DE SUSTITUCION
- 8.602.12.A ESQUEMA DE APARATO PARA ENSAYE DE MANDRIL CILINDRICO
- 8.602.13.A MAQUINA DE LOS ANGELES
- 8.602.19.A CILINDRO DE ACERO Y RAMPAS
- 8.602.20.A METODO PARA MEDIR LA REFLECTANCIA DE TACHAS REFLECTANTES
- 8.602.20.B POSICION DE RETRORREFLECTOR PARA ENSAYAR
- 8.602.20.C POSICION DE TACHAS PARA FOTOMETRIA
- 8.602.28.A MEDIDOR DE LA ABRASION
- 8.602.29.A EJEMPLO DE UN APARATO DE ENSAYE APROPIADO PARA TRACCION
- 8.602.29.B EJEMPLO DE UN APARATO APROPIADO PARA CENTRAR LOS CILINDROS DE ENSAYE DE 20 mm DE DIAMETRO

**8.602.30.A            APARATO PARA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO**

**CAPITULO 8.700**

- 8.702.2.A            MAQUINA DE ELONGACION PARA SELLO DE JUNTAS**
- 8.702.3.A            MAQUINA DE ELONGACION PARA SELLO DE JUNTAS**
- 8.702.3.B            BOLA DE PENETRACION**
- 8.702.4.A            MAQUINA DE ELONGACION PARA SELLO DE JUNTAS**
- 8.702.4.B            BOLA DE PENETRACION**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE GENERAL DE TABLAS**

**CAPITULO 8.000**

- TABLA 8.003.11.A PRUEBA F: VALORES CRITICOS,  $F_{CRIT}$ , PARA UN NIVEL DE SIGNIFICACION  $\alpha = 0,01$**
- TABLA 8.003.11.B PRUEBA F: VALORES CRITICOS,  $F_{CRIT}$ , PARA UN NIVEL DE SIGNIFICACION  $\alpha = 0,05$**
- TABLA 8.003.11.C PRUEBA  $t^*$ , VALORES CRITICOS,  $t_{CRIT}$ , PARA DISTINTOS NIVELES DE SIGNIFICACION**

**CAPITULO 8.100**

- TABLA 8.101.1.A LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG**
- TABLA 8.101.1.B BANDAS GRANULOMETRICAS PARA SUBBASE, BASES Y CAPAS DE RODADURA**
- TABLA 8.102.1.A SERIE DE TAMICES ELEGIDOS**
- TABLA 8.102.1.B CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA SEGUN TAMAÑO MAXIMO ABSOLUTO DEL SUELO**
- TABLA 8.102.2.A TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ENSAYE**
- TABLA 8.102.6.A DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**
- TABLA 8.102.6.B TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.102.7.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**

**TABLA 8.102.7.B**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.102.8.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**

**TABLA 8.102.8.B**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.102.8.C**  
**APARATO DE LLENADO Y MOLDE**

**TABLA 8.102.9.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA SEGUN LA TEMPERATURA**

**TABLA 8.102.9.B**  
**MASA MINIMA DE MUESTRA PARA DETERMINAR LA HUMEDAD  
EN SUELOS DE TAMAÑO MAXIMO ABSOLUTO MENOR O IGUAL QUE 50 MM**

**TABLA 8.102.10.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA**

**TABLA 8.102.12.A**  
**CLASIFICACION DE PENETROMETROS DINAMICOS PORTATILES**

**TABLA 8.102.12.B**  
**VALORES TIPICOS DE D PARA DISTINTOS MATERIALES**

**TABLA 8.102.17.A**  
**CANTIDADES DE MATERIAL NECESARIO PARA  
CONFECCIONAR MUESTRAS CON UN 5% DE CEMENTO**

**TABLA 8.102.17.B**  
**CANTIDADES DE MATERIAL PARA CONFECCION DE MUESTRAS SIN CEMENTO**

**TABLA 8.102.17.C**  
**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO METODO DE TITULACION**

**TABLA 8.102.17.D**  
**DETERMINACION DE LAS MUESTRAS DE TERRENO**

**TABLA 8.102.17.E**  
**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO METODO DE TITULACION**

**TABLA 8.102.17.F**  
**DETERMINACION DE LAS MUESTRAS DE TERRENO**

## **CAPITULO 8.200**

**TABLA 8.201.1.A**  
**REQUISITOS GENERALES**

**TABLA 8.201.1.B**  
**GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO PARA HORMIGON**

**TABLA 8.201.1.C**  
**TIPOS GRANULOMETRICOS DE ARIDO FINO PARA HORMIGON**

**TABLA 8.201.1.D**  
**GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO PARA MORTEROS**

**TABLA 8.201.1.E**  
**GRANULOMETRIA DEL ARIDO GRUESO**

**TABLA 8.202.3.A**  
**SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS**

**TABLA 8.202.3.B**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE DEL ARIDO FINO.**

**TABLA 8.202.3.C**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE DEL ARIDO GRUESO**

**TABLA 8.202.4.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.6.A**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.7.A**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.8.A**  
**CORTES DE LAS GRANULOMETRIAS**

**TABLA 8.202.11.A**  
**GRADOS DE ENSAYE**  
**(DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑOS, en mm)**

**TABLA 8.202.12.A**  
**TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.13.A**  
**SUPERFICIE ESPECIFICA SEGUN TAMAÑO DE PARTICULAS**

**TABLA 8.202.13.B**  
**EJEMPLO DE CALCULO SUPERFICIE ESPECIFICA AGREGADOS PETREOS**

**TABLA 8.202.14.A**  
**CANTIDAD Y AFORO DE LA MUESTRA.**

**TABLA 8.202.16.A**  
**TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.16.B  
TAMICES PARA SEPARAR RESIDUOS**

**TABLA 8.202.17.A  
TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.202.17.B  
SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO**

**TABLA 8.202.18.A  
TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA Y AFORO**

**TABLA 8.202.19.A  
DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS**

**TABLA 8.202.20.A  
CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA SEGUN TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL ARIDO**

**TABLA 8.202.22.A  
GRADUACIONES DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO**

**TABLA 8.202.22.B  
TIEMPO INDICADO PARA CADA GRADUACION**

**TABLA 8.202.22.C  
GRADUACION DE AGREGADO FINO COMBINADO**

**TABLA 8.202.22.D  
PRECISION MULTILABORATORIO**

**CAPITULO 8.300**

**TABLA 8.301.1.A  
ESPECIFICACIONES PARA LOS CEMENTOS ASFALTICOS**

**TABLA 8.301.2.A  
ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO RAPIDO**

**TABLA 8.301.3.A  
ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO MEDIO**

**TABLA 8.301.4.A  
REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS**

**TABLA 8.301.5.A  
REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS**

**TABLA 8.301.6.A  
ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLIMEROS**

**TABLA 8.301.7.A  
REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS**

**TABLA 8.301.8.A  
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE**

**TABLA 8.302.1.A**  
**INDICACIONES PARA MUESTREO SEGUN TIPO DE ASFALTO**

**TABLA 8.302.1.B**  
**TIPOS DE ENVASE PARA MUESTREO**

**TABLA 8.302.1.C**  
**UNIDADES POR EXTRAER SEGUN TAMAÑO DEL LOTE**

**TABLA 8.302.3.A**  
**TIPOS DE TERMOMETROS**

**TABLA 8.302.3.B**  
**CONDICIONES PARA ENSAYES ESPECIALES**

**TABLA 8.302.3.C**  
**TOLERANCIA MAXIMA ENTRE MEDICIONES**

**TABLA 8.302.3.D**  
**CRITERIOS DE PRECISION**

**TABLA 8.302.4.A**  
**TEMPERATURA CORREGIDA PARA FRACCIONES DE DESTILADO A DISTINTAS ALTITUDES**

**TABLA 8.302.4.B**  
**FACTOR PARA CALCULAR CORRECCIONES DE TEMPERATURA**

**TABLA 8.302.12.A**  
**TERMOMETROS ASTM PARA VISCOSIDADES SAYBOLT**

**TABLA 8.302.12.B**  
**TEMPERATURA DE ENSAYE DEL BAÑO**

**TABLA 8.302.13.A**  
**ACEPTABILIDAD DE RESULTADOS DE ENSAYE PARA VISCOSIDAD CINEMATICA**

**TABLA 8.302.13.A3**  
**VISCOSIDAD DE ACEITES NORMALES**

**TABLA 8.302.14.A**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

**TABLA 8.302.14.B**  
**FACTORES DE CONVERSION DE VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

**TABLA 8.302.14.C**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

**TABLA 8.302.15.A1.A**  
**TAMAÑO DE VISCOSIMETROS NORMALES, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K Y RANGOS DE VISCOSIDAD PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO CANNON-MANNING**

**TABLA 8.302.15.A2.A**  
**TAMAÑO VISCOSIMETROS NORMALES, RADIO DEL CAPILAR, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDADES PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO**

**TABLA 8.302.15.A3.A**  
**TAMAÑO VISCOSIMETROS NORMALES, RADIO DEL CAPILAR, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDADES PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO KOPPERS MODIFICADO.**

**TABLA 8.302.15.A4.A**  
**VISCOSIDAD NORMAL**

**TABLA 8.302.20.A**  
**CANTIDAD DE LIGANTE RESIDUAL (kg/m<sup>2</sup>)**

**TABLA 8.302.22.A**  
**REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS**

**TABLA 8.302.22.B**  
**VALORES DE DEFORMACION**

**TABLA 8.302.22.C**  
**NIVELES OBJETIVOS DE TENSION**

**TABLA 8.302.22.D**  
**PRECISIONES ESTIMADAS**

**TABLA 8.302.25.A**  
**PRECISION ESTIMADA**

**TABLA 8.302.27.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA BITUMINOSA**

**TABLA 8.302.30.A**  
**SOLUCIONES DE CARBONATO DE SODIO Y SUS GRADOS DE ADHERENCIA**

**TABLA 8.302.33.A**  
**PRECISION**

**TABLA 8.302.36.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.302.37.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

**TABLA 8.302.37.B**  
**DENSIDAD DEL AGUA A DISTINTAS TEMPERATURAS**

**TABLA 8.302.40.A**  
**FACTORES DE CORRECCION POR ALTURA PARA ESTABILIDAD MARSHALL**

**TABLA 8.302.43.A**  
**GRADUACION DE AGREGADO PARA ENSAYE SHULZE-BREUER AND RUCK**

---

<b>TABLA 8.302.43.B</b>	<b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FILLER - ASFALTO</b>
<b>TABLA 8.302.49.A</b>	<b>CONTENIDO DE ASFALTO DE DISEÑO</b>
<b>TABLA 8.302.50.A</b>	<b>FACTOR DE DESPERDICIO</b>
<b>TABLA 8.302.50.B</b>	<b>FACTOR DE TRÁNSITO</b>
<b>TABLA 8.302.50.C</b>	<b>CORRECCIÓN POR TEXTURA SUPERFICIAL</b>
<b>TABLA 8.302.50.D</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS TOTAL DE LIGANTE EN CAPAS INDIVIDUALES</b>
<b>TABLA 8.302.51.A</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN</b>
<b>TABLA 8.302.53.A</b>	<b>GRANULOMETRÍA DE LA ARENA CALIBRADA</b>
<b>TABLA 8.302.56.A</b>	<b>REQUERIMIENTOS AL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE</b>
<b>TABLA 8.302.56.B</b>	<b>PRECISIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN</b>
<b>CAPÍTULO 8.400</b>	
<b>TABLA 8.401.1.A</b>	<b>REQUISITOS QUÍMICOS BÁSICOS</b>
<b>TABLA 8.401.1.B</b>	<b>REQUISITOS QUÍMICOS COMPLEMENTARIOS</b>
<b>TABLA 8.401.2.A</b>	<b>TIPO Y CLASE DE MEMBRANA PARA CURAR HORMIGÓN DE PAVIMENTOS</b>
<b>TABLA 8.402.5.A</b>	<b>DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS VOLUMÉTRICAS</b>
<b>TABLA 8.402.5.B</b>	<b>PROCEDIMIENTO PARA COMPACTAR EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO</b>
<b>TABLA 8.402.8.A</b>	<b>FACTOR DE CONVERSIÓN POR ESBELTEZ (<math>k_e</math>)</b>
<b>TABLA 8.402.8.B</b>	<b>FACTOR DE FORMA (<math>k_f</math>)</b>
<b>TABLA A1 8.402.8.A</b>	<b>FACTORES DE CONVERSIÓN POR EDAD (<math>k_t</math>)</b>

**TABLA 8.402.9.A  
SIMBOLOS Y DESIGNACIONES**

**TABLA 8.402.9.B  
MOLDES EN FUNCION DEL ENSAYE**

**TABLA 8.402.9.C  
PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION SEGUN EL ASENTAMIENTO  
DEL CONO DE ABRAMS**

**CAPITULO 8.500**

**TABLA 8.502.5.A  
CARACTERISTICAS DE LOS ENSAYES  
SEGUN TIPO DE PAVIMENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

**TABLA 8.502.7.A  
SOLUCION TABULAR PARA EL METODO DE DIFERENCIA ACUMULADA**

**TABLA 8.502.7.B  
PRUEBA T: VALORES CRÍTICOS DE T PARA DISTINTOS NIVELES DE SIGNIFICACION**

**TABLA 8.502.16.A  
ESPACIAMIENTO DE LAS MUESTRAS PUNTUALES ASOCIADAS A MUESTREO SISTEMÁTICO  
SEGÚN CV Y LONGITUD DE LA UNIDAD DE MUESTREO (m)**

**TABLA 8.502.17.A  
TIPO DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN A REALIZAR CON EL EQUIPO SCRIM Y LA FRECUENCIA  
DE CADA UNA DE ELLAS**

**TABLA 8.502.18.A  
CAUDAL DE AGUA PARA MANTENER UN ESPESOR DE PELÍCULA DE AGUA DE 0,25 mm**

**TABLA 8.502.18.B  
PROCESOS DE CALIBRACIÓN O VERIFICACIÓN DEL EQUIPO GRIPTESTER Y SU FRECUENCIA DE  
APLICACIÓN**

**TABLA 8.502.20.A  
COMPONENTES DE LA TABLA DE ANOVA**

**TABLA 8.502.20.B  
FORMATO TABULAR PARA LA VERIFICACIÓN DE REPRODUCIBILIDAD DE EQUIPO GRIPTESTER**

**TABLA 8.502.20.C  
FORMATO TABULAR PARA LA VERIFICACIÓN DE REPRODUCIBILIDAD DE EQUIPO SCRIM**

**CAPITULO 8.600**

**TABLA 8.601.1.A  
FACTOR DE LUMINANCIA**

**TABLA 8.601.1.B  
COORDENADAS CROMATICAS PARA PRODUCTOS DE MERCADO  
DE CARRETERAS BLANCOS Y AMARILLOS**

**TABLA 8.601.1.C  
GRANULOMETRIA MICROESFERAS DE VIDRIO**

**TABLA 8.601.1.D  
GRANULOMETRIA DE LOS ELEMENTOS OPTICOS PARA REFLECTIVIDAD BAJO LLUVIA**

**TABLA 8.601.1.E  
COORDENADAS CROMATICAS PARA TACHAS**

**TABLA 8.601.1.F  
RETROREFLECTANCIA MINIMA**

**TABLA 8.601.2.A  
RETROREFLECTANCIA INICIAL 30 DIAS**

**TABLA 8.601.2.B  
RETROREFLECTANCIA 180 DIAS**

**TABLA 8.601.2.C  
VALORES DE RETROREFLECTANCIA PARA REPINTADO**

**TABLA 8.601.2.D  
VALORES DE RETROREFLECTANCIA DE DEMARCAACION  
CON DESEMPEÑO EN CONDICIONES DE AGUA**

**TABLA 8.601.2.E  
COORDENADAS CROMATICAS PARA PRODUCTOS DE  
MARCADO DE CARRETERAS BLANCOS Y AMARILLOS**

**TABLA 8.601.2.F.  
FACTOR DE LUMINANCIA ( $\beta$ )**

**TABLA 8.602.1.A  
CLASIFICACION DEL GRADO DE SEDIMENTACION**

**TABLA 8.602.3.A  
LIMITES PARA EL TAMAÑO DE MUESTRA EN EL METODO B**

**TABLA 8.602.4.A  
TABLA KREBS-STOMER**

**TABLA 8.602.4.B  
UNIDADES KREBS CORRESPONDIENTES A LA CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR  
UNA ROTACION DE 200 RPM (PARA USAR CON CONTADOR ESTROBOSCOPICO)**

**TABLA 8.602.4.C  
EFECTOS TIPICOS DE LA TEMPERATURA  
SOBRE LA VISCOSIDAD DE ACEITES Y PINTURAS**

**TABLA 8.602.5.A (Normativa)  
DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA, g/ml**

**TABLA 8.602.8.A  
VALOR TRIESTIMULOS A 10° PARA EL DIFUSOR REFLECTANTE  
PERFECTO PARA LOS ILUMINANTES ESTANDAR D65 Y A**

**TABLA 8.602.8.B  
COORDENADAS CROMATICAS PARA PINTURAS UTILIZADAS EN SEÑALIZACION VIAL**

**TABLA 8.602.8.C  
CARACTERISTICAS RADIOMETRICAS ESPECTRALES PARA LA  
COLORIMETRIA DE PELICULAS DE PINTURA**

**TABLA 8.602.8.D  
VALOR TRIESTIMULOS A 10° PARA EL DIFUSOR REFLECTANTE PERFECTO**

**TABLA 8.602.9.A  
CARACTERISTICAS DEL TERMOMETRO**

**TABLA 8.602.9.B**  
**VALORES DE CORRECCION DEL PUNTO DE INFLAMACION**  
**Y PUNTO DECOMBUSTION**

**TABLA 8.602.12.A**  
**ALARGAMIENTO Y FACTOR DE CORRECCION**

**TABLA 8.602.16.A**  
**FACTOR DE LUMINANCIA**

**TABLA 8.602.17.A**  
**CRITERIO DE ACEPTACION O RECHAZO DE LA ZONA DE MEDICION**

**TABLA 8.602.18.A**  
**DETERMINACION DEL NUMERO DE LOTES O ENVASES**  
**DE UN ACOPIO CONSTITUIDO POR VARIOS LOTES**

**TABLA 8.602.20.A**  
**APERTURAS ANGULARES**

**TABLA 8.602.21.A**  
**DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL RELATIVA  $S_{\lambda}$  DE LOS**  
**ILUMINANTES PATRON D65 y A a intervalos de  $\lambda=5\text{nm}$**

**TABLA 8.602.30.A**  
**CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS TERMOMETROS A UTILIZAR**  
**EN LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE LOS MATERIALES**  
**TERMOPLASTICOS DE APLICACION EN CALIENTE**

**CAPITULO 8.700**

**TABLA 8.702.3.A**  
**CICLO DE ENSAYE DIARIO**

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.000 ANTECEDENTES GENERALES**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**ÍNDICE**

**CAPÍTULO 8.000 ANTECEDENTES GENERALES**

**INTRODUCCIÓN**

**SECCIÓN 8.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN**

**SECCIÓN 8.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN**

**SECCIÓN 8.003 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD**

**8.003.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

1. Concepto General de Control de Calidad
2. Esquema de Control de Calidad en Ámbito de Laboratorio

**8.003.2 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL AUTOCONTROL**

1. Funciones
2. Instalación
3. Procedimientos

**8.003.3 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO ITO (LI)**

1. Funciones
2. Instalación
3. Procedimientos

**8.003.4 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS LABORATORIOS REGIONALES**

1. Funciones
2. Procedimientos

**8.003.5 FUNCIONES DEL LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD**

**8.003.6 (EN BLANCO)**

**8.003.7 PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

**8.003.8 (EN BLANCO)**

**8.003.9 (EN BLANCO)**

**8.003.10 (EN BLANCO)**

**8.003.11 MÉTODO DE COMPARACIÓN DE ENSAYES DE CONTROL DE CALIDAD Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO**

1. Alcances y Campo de Aplicación
2. Análisis
3. Prueba-F para la varianza
4. Prueba-t para las medias
5. Ejemplos de cálculo

**8.003.12 REGLAMENTO PARA LA CAPACITACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LABORATORISTAS VIALES**

1. El Laboratorista Vial
2. Del Registro de Laboratoristas Viales
3. De las Licencias
4. De los Exámenes
5. De los Cursos de Laboratorista Vial
6. Situaciones especiales

**SECCIÓN 8.004 GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**SECCIÓN 8.005 SISTEMA DE UNIDADES**

**8.005.1 SÍMBOLOS DE LAS UNIDADES**

**8.005.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES**



## **CAPITULO 8.000 ANTECEDENTES GENERALES**

### **SECCION 8.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN**

La construcción de caminos es una rama de la ingeniería que requiere día a día de mayores conocimientos científicos y técnicos, motivados por el uso de materiales cada vez más complejos, que se colocan mediante equipos y maquinarias sofisticadas. Las inversiones que se requieren para construir carreteras son muy elevadas, de donde resulta absolutamente indispensable asegurar que los diseños se ajusten a una normativa aprobada, que los materiales por incorporar respondan a lo previsto y los controles de calidad se ejecuten según un patrón único, uniforme y confiable.

Las propiedades de los materiales naturales y preparados que se utilizan en la construcción de una carretera se caracterizan mediante la valorización de ciertos parámetros, que se determinan por medio de ensayos realizados en el laboratorio o medidos directamente en el terreno. Al programar el control de calidad de los materiales por utilizar debe tenerse presente que los resultados que se obtienen son, normalmente, muy sensibles a los procedimientos que se apliquen al momento del ensaye; a veces, pequeñas diferencias en los métodos implican fuertes variaciones de los resultados. Es, por lo tanto, absolutamente necesario ejecutar el trabajo ajustándose en forma estricta a una norma o sistema previamente definido; sólo así se podrán comparar resultados de diferentes momentos de una faena, incluso si fueron realizados por un mismo equipo de personal utilizando instrumental similar.

El presente Volumen del Manual de Carreteras se refiere a los requisitos que deben cumplir los materiales por incorporar como parte de los diferentes elementos que integran los caminos, a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar in situ las propiedades y características de los materiales y de las obras ejecutadas.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a los procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos obliga a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Los procedimientos y requerimientos que se describen están, en su mayoría, basados en normas oficiales, tanto nacionales como extranjeras, que han sido adaptadas a las necesidades específicas de la Dirección de Vialidad. Son, por lo tanto, procedimientos propios de esta Dirección, que no deben ser substituidos por otras normas aún cuando pudieran ser equivalentes o similares. Los Certificados que se emitan con los resultados de los ensayos y diseños deben indicar claramente que corresponden a condiciones determinadas según lo prescrito en los respectivos Métodos. Salvo autorización excepcional expresa, todos los materiales que se utilicen en la construcción de obras bajo la jurisdicción de la Dirección de Vialidad deben cumplir con los requisitos, procedimientos de diseño, muestreo y control que se señalan en este Volumen del Manual de Carreteras.



## SECCION 8.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN

El Volumen contiene unidades que se refieren tanto a especificaciones que se exigen para determinados materiales, como de procedimientos por seguir para ensayar muestras representativas de los materiales por utilizar. Cada unidad en la que se describe un procedimiento o se especifica la calidad que se requiere para un determinado material, se denomina Método o Especificación en este Volumen, según corresponda. Para todos los efectos de diseño y control de materiales de obras administradas por la Dirección de Vialidad, estos Métodos y Especificaciones deben considerarse como normas.

Para los efectos de facilitar la búsqueda de los distintos Métodos, éstos se presentan agrupados en función de sus afinidades o similitud de objetivos en los 7 Capítulos que se señalan a continuación:

Capítulo 8.100	Suelos.
Capítulo 8.200	Agregados Pétreos.
Capítulo 8.300	Asfaltos.
Capítulo 8.400	Hormigones.
Capítulo 8.500	Auscultaciones y Prospecciones.
Capítulo 8.600	Seguridad Vial.
Capítulo 8.700	Productos para Juntas y Grietas.

A su vez, los Capítulos se dividen en dos secciones; la Sección Especificaciones y la Sección Métodos. La denominación de todas las unidades comienza con el nombre del capítulo; separados por dos puntos sigue la descripción del contenido, anteponiendo el nombre de la sección. La numeración de todas las unidades comienza con el número 8, correspondiente al número del Volumen del Manual; sigue un número de 3 dígitos que corresponde al capítulo y la sección en que se encuentra inserto; termina con un número correlativo dentro de cada sección.

Como ejemplo de lo señalado, el procedimiento para extraer y preparar muestras de agregados pétreos, se denomina:

### 8.202.1 Agregados Pétreos: Método para Extraer y Preparar Muestras.

El 202.1 le corresponde por estar incluido en el Capítulo 8.200, Sección 8.202 y ser la primera unidad en orden correlativo dentro de la Sección. Igualmente la denominación comienza con el nombre del Capítulo, es decir, "Agregados Pétreos", sigue con el de la Sección "Método" para terminar con la descripción de los alcances que le son propios.



## SECCIÓN 8.003 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

### 8.003.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

#### 1. Concepto General de Control de Calidad

El aseguramiento de la calidad de las obras viales descansa en la interacción de un autocontrol responsable de las obras llevado a cabo por el Contratista, validado con los controles aleatorios que sobre dicho autocontrol se realicen, más los controles receptivos, que ejerce la Dirección de Vialidad. La prolongada aplicación de este esquema otorga la confianza de que se pueden alcanzar resultados en conformidad con las exigencias del Contrato.

En las obras viales, el esquema entrega al Contratista la responsabilidad de asegurar la calidad de su obra. Para ello, debe establecer y mantener un autocontrol permanente de ella, cumpliendo con los lineamientos establecidos en los documentos del Contrato, especialmente, las Bases para la gestión de la calidad en Obras Públicas. El autocontrol de calidad es sin perjuicio del control que la Dirección de Vialidad pueda ejercer sobre la obra misma, como del autocontrol propiamente tal.

#### 2. Esquema de Control de Calidad en Ámbito de Laboratorio

Esta Sección 8.003 se refiere particularmente a aquella parte de los controles de calidad realizados mediante ensayos y evaluaciones llevados a cabo por laboratorios.

En dicho ámbito, el sistema de aseguramiento de la calidad de las obras viales involucra cuatro tipos de entes:

- El Laboratorio de Autocontrol del Contratista, encargado de realizar los ensayos necesarios para garantizar la calidad de la totalidad de las obras durante su ejecución.
- La Inspección Técnica de Obras (ITO), cuyo objetivo es verificar y validar el trabajo de autocontrol.
- Los Laboratorios Regionales (LR) y/o Provinciales de Vialidad, que supervisan el cabal cumplimiento de las funciones de autocontrol, incluyendo los ensayos de verificación del autocontrol, además de realizar los controles receptivos, especialmente los de las capas de rodadura.
- El Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) es la instancia superior, cuyo objetivo básico es supervisar el Sistema de Control de Calidad Vial, encargado, entre otras funciones, de establecer pautas, impartir instrucciones, verificar la calibración de equipos de los laboratorios intervinientes, asesorar a las comisiones receptoras de obras, y realizar labores de formación, acreditación, supervisión y evaluación de los laboratoristas viales, todo con el fin de mantener vigente la confiabilidad del sistema. Parte de estas funciones puede desarrollarlas a través de los Laboratorios Regionales o Provinciales.

En los Tópicos 8.003.2 a 8.003.5 se mencionan los principales procedimientos a realizar por los diferentes niveles de control, es decir, Autocontrol, ITO, Laboratorio Regional y LNV, para cumplir las labores que les corresponden.

### 8.003.2 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL AUTOCONTROL

#### 1. Funciones

Sus funciones son controlar las distintas faenas de producción de materiales y confección de las obras, para que, de ser necesario, se adopten las medidas correctivas con el menor daño posible, y así asegurar que cada fase de la obra se confeccione a plena concordancia con las especificaciones técnicas que rigen el contrato. La función principal del laboratorio de autocontrol será avalar el cumplimiento de las especificaciones en cada fase, mediante un control sistemático que cubra todas las etapas del proceso y que permita enmendar, oportunamente y durante su ejecución, cualquier deficiencia que se detecte. Por ello, el mayor control debe estar dirigido a los procesos de producción, tales como control de la cinta en los acopios, ensayos de hormigón a temprana edad, etc.

## 2. Instalación

El contratista deberá instalar, por su exclusiva cuenta, un laboratorio de faenas de autocontrol, con personal idóneo suficiente y provisto de todos los equipos y elementos necesarios para efectuar los ensayos y análisis del control de calidad de los materiales y obras por ejecutar. Todo lo anterior, de acuerdo con el Numeral 5.106.104, Laboratorio de Faenas para Autocontrol, y con lo que se establezca en las Bases y Especificaciones Especiales del Contrato. Al dimensionar este laboratorio, se deberá considerar la disponibilidad de equipos en cantidad suficiente para que también pueda emplearlos el personal de la Inspección Fiscal y/o la Asesoría a la Inspección (AIF), sin ningún tipo de limitación ni demoras.

El IF debe solicitar al Contratista la pronta habilitación de las dependencias para el Laboratorio ITO, la que se debe efectuar durante los primeros 30 días de iniciado el contrato o en el plazo estipulado en él.

Previo al inicio de la construcción de las obras, el Contratista debe presentar al IF un listado del personal, equipos y elementos que dispondrá el Laboratorio de Autocontrol, el que debe ser consistente con las necesidades de la obra, y considerando además, lo siguiente:

- 2.1 El personal debe cumplir con las exigencias de idoneidad establecidas en el contrato y estar debidamente calificado y acreditado por las respectivas licencias vigentes de laboratorista vial.
- 2.2 Los equipos deben cumplir con los requisitos de las normas pertinentes, avalados por los certificados de calibraciones vigentes.
- 2.3 Debe tener las Especificaciones Técnicas Especiales, planos y demás antecedentes del Proyecto, el Manual de Carreteras en la versión vigente para el Contrato y todo otro documento que emane del Contrato.
- 2.4 Debe disponer de movilización propia, que le permita al personal de autocontrol trasladarse en forma oportuna e independiente a los lugares de medición.
- 2.5 Debe contar con un recinto para su uso exclusivo y de dimensiones adecuadas, acorde con el equipamiento y la frecuencia de los ensayos.

## 3. Procedimientos

El Autocontrol se ceñirá durante las diferentes fases de las obras a los procedimientos expuestos a continuación.

- 3.1 Debe someter a consideración del IF un plan general de trabajo, en el que se incluya un organigrama con los cargos por desempeñar y el grado de responsabilidad de cada uno de los integrantes, sobre la base de un plan de trabajo que considere la magnitud de la obra, y los equipos y maquinarias empleados en la construcción de cada partida.
- 3.2 Controlar las distintas faenas de confección de materiales y ejecución de las obras. Si por cualquier circunstancia fuere necesario efectuar ensayos no especificados en el contrato, éstos deben realizarse en laboratorios previamente calificados por el Laboratorio Nacional de Vialidad. El costo de estos ensayos será de cargo del Autocontrol.
- 3.3 Informar oportunamente a los jefes respectivos del Contratista de las condiciones de calidad, a fin de que, de ser necesario, adopten las medidas correctivas con el menor daño posible.
- 3.4 Emitir los certificados de ensayos realizados en las distintas etapas de producción de materiales y de ejecución de las obras. Se llama la atención a la obligación de entregar un informe de autocontrol de las mediciones de fricción, macrotextura y retrorreflectancia de las demarcaciones, realizadas en forma continua e informando los promedios cada 200 m.

- 3.5 Informar a la ITO, según la vía establecida en cada Contrato, inmediatamente después de obtenidos los resultados de los ensayos, todos los controles definitivos de la porción de obra terminada en el día, para que la ITO programe oportunamente su intervención, de acuerdo con el Punto 3 del Tópico 8.003.3.
- 3.6 Resumir la información de los puntos 3.4 y 3.5 anteriores, y entregarla quincenalmente al IF y al Laboratorio Regional, quedando oficializada entre los antecedentes del contrato. El IF, a solicitud del LR, podrá fijar otra frecuencia, dependiendo de la magnitud y tipo de obra.
- 3.7 Conservar en medio digital, en el formato que suministre el Laboratorio Nacional de Vialidad, toda la información que se genere como consecuencia de su actuación, es decir, visados, certificados de ensayos, tablas de controles sistemáticos, etc.

La Inspección Fiscal revisará el funcionamiento del Autocontrol y tendrá libre acceso a las pruebas y ensayos que practique el Contratista y ordenará la correcta aplicación de las normas, como asimismo el buen uso de todos los elementos de control.

### **8.003.3 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO ITO (LI)**

#### **1. Funciones**

La función principal del Laboratorio ITO (LI) consiste en garantizar la confiabilidad de la gestión del Autocontrol, y verificarla mediante ensayos selectivos, previo análisis de los resultados y revisión general de los procedimientos de trabajo.

#### **2. Instalación**

De existir Asesoría a la Inspección Fiscal (AIF), ésta deberá contar con un equipo profesional dedicado al control de calidad de la gestión del laboratorio de autocontrol.

Además, si los documentos del contrato de AIF lo establecen, deberá instalar un laboratorio de control. En este caso, el IF debe solicitar al LR respectivo que verifique el cumplimiento de los equipos en calidad y cantidad. El local de funcionamiento también será según lo señalen los documentos del contrato.

Si no existiera AIF, el IF debe solicitar al LR la pronta designación del laboratorista encargado de la ITO.

#### **3. Procedimientos**

El LI se ceñirá a los procedimientos expuestos a continuación.

- 3.1 El IF debe solicitar al LNV o al LR o Laboratorio Provincial, a la brevedad posible, la Reunión de Apertura de Laboratorio, a que se refiere el Tópico 8.003.4, Punto 2.4.
- 3.2 El jefe del LI debe llevar al día cuadros de avance de lo ejecutado y controlado por el Autocontrol, para analizar, programar y dimensionar su control selectivo, de acuerdo con la importancia y volumen de la obra. A falta de resultados, los debe solicitar al Autocontrol a través del IF.
- 3.3 El LI debe realizar ensayos selectivos en obras que le sirvan de referencia, para evaluar el trabajo del Autocontrol. Los ensayos del LI deben ser completamente independientes de los del Autocontrol. Por ningún motivo se deben hacer ensayos paralelos u obtener muestras gemelas.
- 3.4 El LI debe determinar las tendencias, analizando los rangos, promedios y desviaciones, teniendo presente la precisión de los ensayos.

- 3.5 Sobre la base de los ensayos y/o análisis del LI, el IF debe informar de inmediato al Contratista cualquier incumplimiento de los resultados respecto de las exigencias del Contrato, indicando las consecuencias si no son subsanadas antes de proseguir con la ejecución de las obras.
- 3.6 El LI debe determinar la causa de la eventual divergencia referida en el punto 3.5 anterior. En caso de existir un error sistemático, se debe solicitar al LR su intervención para que determine la causa de dicho error.
- 3.7 El LI emitirá informes mensuales, indicando por lo menos promedios, rangos, número de muestras de Autocontrol y LI y las exigencias de cada ítem, comparando, interpretando y comentando los resultados del sistema de control. Debe enviar periódicamente los certificados de ensaye al LR.
- 3.8 El LI deberá mantener en medio digital, en el formato que suministre el LNV, toda la información que se genere como consecuencia de su actuación, es decir, visados, certificados de ensaye, tablas de controles sistemáticos, etc. Dicha información debe ser actualizada quincenalmente y enviada al LR, con copia al LNV.

#### 8.003.4 FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS LABORATORIOS REGIONALES

Además de los dos niveles de control mencionados en los Tópicos 8.003.2 y 8.003.3, existe en cada obra una instancia superior, constituida por el Laboratorio Regional, en forma directa o a través del Laboratorio Provincial, cuyo objetivo básico es mantener vigente la confiabilidad del sistema de control ya descrito.

##### 1.- Funciones

La función fundamental de los laboratorios regionales es supervigilar que todas las obras viales que se ejecuten en su región queden controladas de acuerdo con las estipulaciones del contrato, esta Sección 8.003 y las normas e instrucciones impartidas por el LNV. Para ello, debe:

- 1.1 Mantener un permanente control sobre el cumplimiento de la normativa en todos los ensayos y determinaciones.
- 1.2 Presidir la Reunión de Apertura de Laboratorio descrita en el Punto 2.4.
- 1.3 Supervisar el cabal cumplimiento de las funciones del Autocontrol, además de realizar los ensayos de verificación del Autocontrol.
- 1.4 Solicitar al LNV la calibración de los equipos, cuando corresponda.
- 1.5 Analizar si los ensayos de LI y Autocontrol están en una proporción acorde con el nivel de confiabilidad del sistema de control y métodos constructivos.
- 1.6 Cuando existan laboratorios de ITO, debe mantener un conocimiento del grado de confiabilidad con que opera el sistema de control de las obras.
- 1.7 Efectuar ensayos esporádicos, aumentando la frecuencia de control en caso de dudas o incumplimientos, e informar del grado de confiabilidad del sistema de control al Director Regional, IF y LNV. Informes y resultados se deben mantener en calidad de internos.
- 1.8 Efectuar los ensayos receptivos, especialmente los de las capas de rodadura, que corresponda según contrato.
- 1.9 Asesorar al IF, a solicitud de éste o por propia iniciativa, en todo lo concerniente a laboratorio.
- 1.10 Informar al LNV de la actuación de cada laboratorista, para registrar su desempeño en la hoja de vida de éste.

**1.11** Antes de la Recepción Provisoria, emitir un informe resumido referente a la gestión del laboratorio de Autocontrol.

## **2. Procedimientos**

**2.1** La unidad administradora del Contrato deberá informar a la brevedad al LR y al LNV la Resolución de adjudicación y designación del Inspector Fiscal de todo contrato. Además, debe proporcionar los antecedentes generales del mismo, incluidas sus aclaraciones y modificaciones, y cualquier otro antecedente que pueda afectar el desarrollo de la obra (pozos de empréstito, calicatas, etc.). Será deber del IF verificar que el LR cuente con todos los antecedentes del Contrato, así como también, proporcionarle todo lo referente a las modificaciones que sufra, tales como obras extraordinarias, especificaciones técnicas, cubicaciones o ubicación de las faenas.

**2.2** El IF deberá informar por escrito al LR la ubicación del laboratorio de Autocontrol, los antecedentes de los laboratoristas de Autocontrol (nombre, licencia, experiencia, etc.).

**2.3** Si las Bases permiten un laboratorio externo, éste deberá ser validado por el laboratorio de Vialidad correspondiente, cada vez que participe en un contrato nuevo; además, deberá cumplir con todas las exigencias estipuladas para el Autocontrol en los puntos 2, 2.1, 2.3, 2.5, 3.1 y 3.7 del Tópico 8.003.2.

**2.4** Al comienzo del Contrato se llevará cabo la Reunión de Apertura de Laboratorio. En ella deben participar:

- El IF
- Los profesionales residentes de la empresa y de la AIF, si existe,
- Los jefes de laboratorios LR y Provincial, si corresponde,
- Los jefes de laboratorios de Autocontrol e ITO,
- Los encargados de Calidad de la empresa y de la ITO, si existen.
- Es conveniente que asistan también los Visitadores de Vialidad que supervisarán el contrato y un representante del LNV.

Los objetivos de la reunión serán:

- Permitir el conocimiento mutuo del personal que participará en el sistema de control de calidad.
- Exponer y aclarar el sistema de autocontrol.
- Definir las labores específicas de cada una de las entidades participantes y acotar su campo de acción, de acuerdo con las pautas establecidas en este Volumen.
- Establecer el organigrama y flujo general de los diferentes niveles de control, que permita una comunicación expedita, de modo que las medidas correctivas se adopten en el menor tiempo posible.
- Recibir el informe del LR sobre la cantidad, idoneidad y estado de los equipos, calibraciones vigentes y si el personal cuenta con las debidas licencias actualizadas.

Modelos de actas de Reunión de Apertura de Laboratorio, con y sin AIF, se muestran en las Láminas 8.003.5.A y 8.003.5.B, respectivamente. Si el representante del LNV no asiste, el IF le remitirá una copia del acta de dicha reunión.

**2.5** El IF deberá también apoyar con movilización al LR para el adecuado cumplimiento de sus funciones. Previo a dar por finalizado el contrato, deberá coordinar con el LR situaciones pendientes relativas al control de calidad.

**2.6** La unidad administradora del Contrato comunicará al LNV y al LR, con dos semanas de anticipación, la fecha de Recepción Provisoria programada para cada obra en particular.

### **8.003.5 FUNCIONES DEL LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD**

El Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) tiene como función primordial la supervisión general del Sistema de Control de Calidad. A estos efectos, tiene las siguientes funciones específicas, las que puede desarrollar en parte a través de los LR:

1. Supervisar, a través de los Visitadores, el sistema de control de calidad, con el fin de obtener un eficiente funcionamiento de él.
2. Establecer pautas e impartir instrucciones relacionadas con la calidad de las obras.
3. Asistir a la Reunión de Apertura de Laboratorio, a la que se refiere el Tópico 8.003.4, Punto 2.4.
4. Velar por la calibración de los equipos tanto de los LR como de los laboratorios de faena.
5. Pronunciarse en cuanto a la aplicabilidad de las especificaciones, interpretarlas y, en casos justificados, modificarlas si las condiciones del desarrollo de la obra las hacen inaplicables, visar estudios especiales y dirimir en resultados de ensayos.
6. Aprobar o rechazar el uso o aplicación de materiales constructivos que presenten un carácter innovador, o de lo cual no exista experiencia previa de su empleo en el país.
7. Efectuar ensayos específicos, que por su particularidad no puedan ser efectuados en los LR.
8. Asesorar, directamente o por medio de un representante, a las comisiones receptoras de etapas, provisoria o definitiva, únicas encargadas de recibir las obras especificadas, sobre la base de los antecedentes recolectados (ensayos de autocontrol, ITO y laboratorios de la Dirección de Vialidad); para ello, el LNV debe contar con la debida anticipación con los informes pertinentes.
9. Informar al Director de Vialidad de aquellos sistemas de bajo grado de confiabilidad que, por incumplimiento reiterado de algunas de las instrucciones, originen los ítems fuera de especificaciones.
10. Realizar labores de formación, acreditación, supervisión y evaluación de los laboratoristas viales.

Con fecha \_\_\_\_\_ se lleva a efecto la reunión de apertura de laboratorio constituida por las personas que suscriben la presente acta, a fin de definir las pautas a seguir en el control de calidad de la obra .....(nombre del Contrato) ..... a realizar por .....(nombre Contratista) .....

1. Se implementa un Manifold de comunicación en triplicado y foliado entre el Laboratorio de Autocontrol, el Laboratorio de Asesoría a la Inspección Fiscal y el Laboratorio de Vialidad, el cual deberá estar siempre disponible en la obra.
2. La función y procedimientos de los Laboratorios de Autocontrol y Asesoría están definidos en la Sección 8.003 del Volumen 8 del Manual de Carreteras.
3. El Laboratorio de Vialidad verificará la confiabilidad de la gestión de los Laboratorios de Autocontrol y Asesoría, realizando controles y ensayos selectivos.
4. Los jefes de Laboratorio de Autocontrol y de Asesoría deberán entregar ( ...indicar período de tiempo establecido en las Bases del Contrato....) la certificación en duplicado a la Inspección Fiscal y Laboratorio de Vialidad, anexando fotocopia de las fichas de ensaye, las que deberán ser llenadas con tinta indeleble y permanecer siempre en la obra.
5. El Laboratorio de Autocontrol y Laboratorio de Asesoría deberán disponer de toda la información que se genere como consecuencia de su actuación, es decir, visaciones, certificados de ensaye, tablas de controles sistemáticos, etc., en medio magnético u óptico, en el formato que suministre el Laboratorio Nacional de Vialidad. Dicha información debe ser actualizada quincenalmente y enviada al Laboratorio Regional con copia al Laboratorio Nacional de Vialidad.
6. El Contratista deberá entregar quincenalmente un programa de trabajo de las obras por ejecutar.
7. Los informes emitidos por Autocontrol deberán ser recepcionados por el Laboratorio de Vialidad en un plazo no superior a 10 días después del término del período correspondiente.
8. En el primer informe quincenal, los Laboratorios de Autocontrol y Asesoría deberán presentar al Laboratorio de Vialidad un programa de muestreo y control de las obras con cada ítem contratado que requiera control de laboratorio.
9. El Laboratorio de Autocontrol realizará controles oportunos, poniendo énfasis en el proceso productivo, de tal manera de corregir cualquier deficiencia que se presente.
10. Todos los equipos e instrumentos deben ajustarse a las normas y especificaciones vigentes, con sus respectivas calibraciones al día.
11. Todo equipo radiactivo debe contar con un lugar de almacenamiento aprobado por el Servicio de Salud correspondiente. El personal que opera estos equipos debe contar con licencia al día y su respectivo dosímetro.
12. Todo certificado de ensaye emitido por algún laboratorio externo al Autocontrol deberá contar con todos los datos de la obra y será de exclusiva responsabilidad del Autocontrol, debiendo éste último adjuntarlos al informe del período.
13. Cualquier cambio en el personal de los Laboratorios de Autocontrol y de Asesoría deberá ser autorizado por el Inspector Fiscal e informado al Laboratorio de Vialidad.
14. Los Laboratorios de Autocontrol y de Asesoría deberán contar con movilización exclusiva, adecuada y permanente para su buen desempeño, cuando las bases del contrato así lo indiquen.
15. Todo informe de dosificación deberá presentarse en el plazo establecido en las Especificaciones Técnicas para que el Laboratorio de Vialidad proceda a su visación. No se podrá ejecutar ningún ítem cuya dosificación no esté visada.

16. El Laboratorio de Asesoría deberá tomar muestras del contenido de todo camión de asfalto que llegue a la obra y hacerlas llegar al Laboratorio de Vialidad en un plazo no mayor a 72 horas de la fecha de muestreo, en sus envases respectivos.
17. El Laboratorio de Autocontrol deberá hacer entrega de la certificación de ensayos de hormigón en un plazo no superior a 30 días, respecto de la fecha de ensaye.
18. Todo muestreo de hormigón debe ser certificado.
19. El Laboratorio de Asesoría deberá incluir evaluaciones parciales de los hormigones en los informes informes del período.
20. El Laboratorio de Asesoría deberá incluir en los informes mensuales por lo menos promedio, rangos, número de muestras de Autocontrol y Asesoría y las exigencias de cada ítem, comparando, interpretando y comentando los resultados del sistema de control.
21. Los Laboratorios de Autocontrol y Asesoría deberán entregar un resumen al término de la obra que contenga todos los controles ejecutados a cada ítem, de acuerdo a una pauta entregada por el Laboratorio de Vialidad, en un plazo no superior a 10 días después de finalizada la obra.

---

JEFE LABORATORIO  
VIALIDAD ( indicar región )  
(nombre completo y firma)

---

INSPECTOR FISCAL  
(nombre completo y firma)

---

JEFE LABORATORIO  
AUTOCONTROL  
(nombre completo y firma)

---

PROFESIONAL RESIDENTE  
EMPRESA CONSTRUCTORA  
(nombre completo y firma)

---

JEFE LABORATORIO  
ASESORIA ( nombre asesoría )  
(nombre completo y firma)

---

PROFESIONAL RESIDENTE  
ASESORIA ( nombre asesoría )  
(nombre completo y firma)

Con fecha \_\_\_\_\_ se lleva a efecto la reunión de apertura de laboratorio constituida por las personas que suscriben la presente acta, a fin de definir las pautas a seguir en el control de calidad de la obra .....(nombre del Contrato)..... a ejecutar por .....(nombre Contratista).....

1. Se implementa un Manifold en triplicado y foliado de comunicación entre el Laboratorio de Autocontrol y el Laboratorio de Vialidad, el cual deberá estar siempre disponible en la obra.
2. La función y procedimientos del Laboratorio de Autocontrol están definidos en la Sección 8.003 del Volumen 8 del Manual de Carreteras.
3. El Laboratorio de Vialidad verificará la confiabilidad de la gestión del Laboratorio de Autocontrol realizando controles y ensayos selectivos.
4. El jefe de Laboratorio de Autocontrol y de Asesoría deberá entregar ( ....indicar período de tiempo establecido en las Bases del Contrato.....) la certificación en duplicado a la Inspección Fiscal y Laboratorio de Vialidad, anexando fotocopia de las fichas de ensaye, las que deberán ser llenadas con tinta indeleble y permanecer siempre en la obra.
5. El Laboratorio de Autocontrol deberá disponer de toda la información que se genere como consecuencia de su actuación, es decir, visaciones, certificados de ensaye, tablas de controles sistemáticos, etc., en medio magnético u óptico, en el formato que suministre el Laboratorio Nacional de Vialidad. Dicha información debe ser actualizada quincenalmente y enviada al Laboratorio Regional con copia al Laboratorio Nacional de Vialidad.
6. El Contratista deberá entregar quincenalmente un programa de trabajo de las obras por ejecutar.
7. Los informes emitidos por Autocontrol deberán ser recepcionados por el Laboratorio de Vialidad en un plazo no superior a 10 días después del término del período correspondiente.
8. En el primer informe quincenal el Laboratorio de Autocontrol deberá presentar al Laboratorio de Vialidad un programa de muestreo y control de las obras con cada ítem contratado que requiera control de laboratorio.
9. El Laboratorio de Autocontrol realizará controles oportunos, poniendo énfasis en el proceso productivo, de tal manera de corregir cualquier deficiencia que se presente.
10. Todos los equipos e instrumentos deben ajustarse a las normas y especificaciones vigentes, con sus respectivas calibraciones al día.
11. Todo equipo radiactivo debe contar con un lugar de almacenamiento aprobado por el Servicio de Salud correspondiente. El personal que opera estos equipos debe contar con licencia al día y su respectivo dosímetro.
12. Todo certificado de ensaye emitido por algún laboratorio externo al Autocontrol deberá contar con todos los datos de la obra y será de exclusiva responsabilidad del Laboratorio Autocontrol, debiendo éste adjuntarlos al informe del período.
13. Cualquier cambio en el personal del Laboratorio de Autocontrol deberá ser autorizado por el Inspector Fiscal e informado al Laboratorio de Vialidad.
14. El Laboratorio de Autocontrol deberá contar con movilización exclusiva, adecuada y permanente para su buen desempeño, cuando las bases del contrato así lo indiquen.

15. Todo informe de dosificación deberá presentarse en el plazo establecido en las Especificaciones Técnicas para que el Laboratorio de Vialidad proceda a su visación. No se podrá ejecutar ningún ítem cuya dosificación no esté visada.
16. El Laboratorio de Autocontrol deberá tomar muestras del contenido de todo camión de asfalto que llegue a la obra y hacerlas llegar al Laboratorio de Vialidad en un plazo no mayor a 72 horas de la fecha de muestreo, en sus envases respectivos.
17. El Laboratorio de Autocontrol deberá hacer entrega de la certificación de ensaye de hormigón en un plazo no superior a 30 días, respecto de la fecha de ensaye.
18. Todo muestreo de hormigón debe ser certificado.
19. El Laboratorio de Autocontrol deberá incluir evaluaciones parciales de los hormigones en los informes del período.
20. El Laboratorio de Autocontrol deberá entregar un resumen al término de la obra que contenga todos los controles ejecutados a cada ítem, de acuerdo a una pauta entregada por el Laboratorio de Vialidad, en un plazo no superior a 10 días después de finalizada la obra.

---

JEFE LABORATORIO  
VIALIDAD ( indicar región)  
(nombre completo y firma)

---

INSPECTOR FISCAL  
(nombre completo y firma)

---

JEFE LABORATORIO  
AUTOCONTROL  
(nombre completo y firma)

---

PROFESIONAL RESIDENTE  
EMPRESA CONSTRUCTORA  
(nombre completo y firma)

### **8.003.6 EN BLANCO**

### **8.003.7 PLAN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

Un Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC) es un documento que establece las prácticas de calidad específicas, recursos y secuencia de actividades pertinentes a una obra, servicio o contrato en particular, que tiene por objeto dar confianza de que se cumplirán los requisitos y especificaciones del contrato. Se distinguen los siguientes conceptos:

- La Gestión de Calidad, que incluye el Control de Calidad, según se indica en el Tópico 8.003.2, el Aseguramiento de la Calidad, así como también conceptos de política de calidad, planificación de la calidad y mejoramiento de la calidad.
- El Aseguramiento de la Calidad, que tiene por objeto dar confianza al mandante de que se cumplen las estipulaciones contractuales en cuanto a calidad.
- El Control de Calidad, que se refiere a los medios operacionales para cumplir los requisitos de calidad.

Como parte de las acciones tendientes a asegurar el debido control de la calidad de las obras contratadas, se exigirá al Contratista y a la Asesoría a la Inspección Fiscal (AIF) el desarrollo y cumplimiento de su correspondiente PAC. Éstos deberán contemplar, mediante prácticas sistemáticas y documentadas, las acciones a seguir para cumplir con lo señalado.

Las bases para el desarrollo del PAC por parte del Contratista se encuentran detalladas en las Bases para la gestión de la calidad en Obras Públicas, que normalmente forman parte de los antecedentes de licitación de cada obra. El PAC deberá contemplar las acciones que realizará el Contratista para cumplir con los requisitos y las especificaciones técnicas del Contrato y dar a la Dirección de Vialidad la confianza adecuada para ello. Este PAC deberá garantizar que todas las actividades organizativas y técnicas, necesarias para alcanzar los objetivos de calidad especificados en el Contrato, estén previstas y se apliquen en forma eficaz.

A su vez, la AIF también desarrollará y seguirá un plan de aseguramiento de la calidad, cuyas bases se incluyan en las Bases de Concurso correspondientes. Este PAC deberá contemplar las acciones que realizará el Consultor para asegurar el cumplimiento de las Bases de Concurso y, además, indicar cómo efectuará la supervisión del PAC del Contratista.

### **8.003.8 EN BLANCO**

### **8.003.9 EN BLANCO**

### **8.003.10 EN BLANCO**

## 8.003.11 METODO DE COMPARACION DE ENSAYES DE CONTROL DE CALIDAD Y CRITERIOS DE ACEPTACION O RECHAZO

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

En las especificaciones técnicas de las Obras Viales, el contratista, a través de su autocontrol, tiene la responsabilidad sobre los ensayos de Control de Calidad, los cuales deben ser de carácter sistemático (CC). La Dirección de Vialidad, ya sea a través de la Inspección Fiscal, la Asesoría de Inspección Fiscal, el Laboratorio Regional de Vialidad o el Laboratorio Nacional de Vialidad, es responsable de los Ensayes de Aceptación o receptivos (CA).

También es necesario, en algunas oportunidades, que la Dirección de Vialidad pueda aceptar como valederos resultados, o valores de algún parámetro que haya sido medido o cuantificado por el Autocontrol (CC), y para lo cual sólo sea necesario efectuar un muestreo aleatorio (CA) de un sector o sectores dentro de la población en evaluación. En ambas situaciones es necesario contar con un criterio estadístico que mediante un test permita con un cierto nivel de significación aceptar las mediciones o valores presentados por el autocontrol.

### 2.- Análisis

Para comparar dos poblaciones que se suponen normalmente distribuidas, es necesario comparar sus centros (medias) y su variabilidad (desviación estándar o varianza). Para cada una de estas propiedades se usan distintas hipótesis. La **Prueba-F** provee de un método para comparar la variabilidad de las varianzas de dos conjuntos de datos. Las posibles diferencias en la media se evalúan mediante la **Prueba-t**.

La Prueba-F, se basa en la relación (cuociente) de las varianzas de dos conjuntos de datos. En este caso, se basa en la relación entre las varianzas de los resultados del CC,  $S^2_c$ , y los resultados de CA,  $S^2_a$ . La Prueba-t, compara la media de las muestras; en este caso, se basa en las medias de los resultados del CC,  $\bar{X}_c$  y los del CA,  $\bar{X}_a$ .

Las Pruebas de Hipótesis, F y t, se realizan a un nivel de significación,  $\alpha$ , previamente seleccionado. El nivel de significación es la probabilidad de decidir incorrectamente que un conjunto de datos son diferentes cuando realmente provienen de la misma población. Los valores de  $\alpha$  que se emplean normalmente son 0,05 y 0,01, equivalente a 95% y 99% de confiabilidad, respectivamente. El análisis siguiente considera  $\alpha=0,01$  de modo de minimizar la probabilidad de concluir incorrectamente que los resultados son diferentes cuando no lo son. Sin embargo, la Dirección de Vialidad, según lo estime conveniente y en la medida que se disponga de mayores antecedentes se reserva el derecho de considerar otro valor de  $\alpha$ , mayor o menor, al planteado aquí en una primera instancia.

Para que el análisis tenga sentido, todas las muestras se deben obtener de manera aleatoria, los dos conjuntos de resultados deben haber sido muestreados de preferencia durante el mismo periodo de tiempo, pero siempre usando los mismos procedimientos de muestreo y ensaye. Si se determina que existe una diferencia entre las medias o varianzas, se debe identificar la fuente de dicha diferencia.

Si el análisis indica que no existe razón para creer que los resultados provienen de poblaciones diferentes, entonces la media y la varianza (desviación estándar) se pueden determinar del conjunto de resultados para obtener una mejor estimación de los parámetros de la población que se obtendría de cada uno de los conjuntos individuales.

### 3.- Prueba-F para la varianza.

Ya que los valores que se usan en la prueba-t dependen de que las varianzas de los dos conjuntos sean iguales o no, se requiere entonces verificar primero las varianzas antes que las medias. El propósito es determinar si la diferencia en la variabilidad de los resultados del Contratista y la Inspección es mayor que la que se podría esperar que ocurriera por azar si ellas provienen de la misma población. En este caso,

no importa cual varianza es mayor. Después de comparar los resultados, se puede llegar a una de las conclusiones siguientes:

- Los dos conjuntos de datos tienen diferentes varianzas debido a que la diferencia entre los dos conjuntos de resultados es mayor que la que probablemente ocurra por azar si sus varianzas son realmente iguales.
- No hay razón para pensar que las varianzas son diferentes ya que la diferencia no es tan grande como la que es probable que ocurra por azar si las varianzas son realmente iguales.

Primero se calculan las varianzas (desviación estándar al cuadrado) para los ensayos del CC y del CA. Luego se calcula  $F$ , donde  $F = S_c^2 / S_a^2$  o  $F = S_a^2 / S_c^2$ . Siempre ubique la varianza mayor en el numerador. Ahora, se elige el nivel de significación  $\alpha$  que se usará en la prueba. Como se mencionó previamente, se recomienda en una primera instancia considerar  $\alpha=0,01$ . En seguida, se determina de la Tabla 8.003.11 A o B, (según se haya elegido  $\alpha=0,01$  o  $\alpha=0,05$  respectivamente) el valor crítico de  $F$ ,  $F_{crit}$ , usando los grados de libertad asociados a cada conjunto de resultados. Los grados de libertad se obtienen, para cada conjunto de resultados, como el número de ensayos menos uno. Si el número de ensayos del CC es  $n_c$  y el número de ensayos del CA es  $n_a$ , entonces los grados de libertad asociados con  $S_c^2$  son  $(n_c - 1)$  y los asociados a  $S_a^2$  son  $(n_a - 1)$ . Los valores de las Tablas 8.003.11. A y B están tabulados para verificar si existe diferencia (ya sea pequeña o grande) entre dos estimaciones de varianzas. Esto se conoce como prueba de dos colas. Se debe tener cuidado cuando se usan otras tablas de distribución  $F$ , ya que normalmente estas se basan en una prueba de una cola; es decir, verifican específicamente si una varianza es mayor que la otra.

Una vez determinado  $F_{crit}$  de la Tabla 8.003.11. A o B, (según se haya elegido  $\alpha=0,01$  o  $\alpha=0,05$  respectivamente) se puede concluir de acuerdo al siguiente criterio:

- Si  $F \geq F_{crit}$  entonces los dos conjuntos de ensayos tienen una variabilidad significativamente diferente.
- Si  $F < F_{crit}$  entonces no hay razón para pensar que las variabilidades son significativamente diferentes.

#### 4.- Prueba-t para las medias.

Una vez que se ha verificado si las varianzas son iguales o no, se puede verificar si las medias de los dos resultados difieren una de otra o se suponen iguales. El objetivo es determinar si es razonable suponer que los ensayos del Autocontrol (CC) provienen de la misma población que los muestreados por Vialidad (CA). Para comparar ambas medias, se usa la Prueba-t.

Existen dos variantes para abordar el problema:

- i) Si se supone que las varianzas son iguales, entonces la prueba-t se realiza usando una varianza combinada y también un número combinado de grados de libertad. Esta variante se describe como **Caso 1**.
- ii) Si se supone que las muestras tienen distinta varianza, entonces la prueba-t se realiza usando varianzas individuales, tamaños de muestras individuales y un grado de libertad efectivo (estimado a partir de las varianzas y del tamaño de las muestras). Esta variante se presenta como **Caso 2**.

En cualquiera de las dos variantes se debe tomar una de las decisiones siguientes:

- Los dos conjuntos de datos tienen medias diferentes debido a que la diferencia entre las medias es mayor a la que es probable que ocurra por azar si sus medias son realmente iguales.
- No existe razón para pensar que las medias son diferentes ya que la diferencia entre las medias no es tan grande como para ser improbable que ocurra por azar si las medias son realmente iguales.

#### 4.1 Caso 1 : Varianzas Iguales

Cuando se supone que las varianzas son iguales, la prueba-t se realiza empleando la ecuación 1 para calcular el valor de t, a partir del cual se tomará la decisión.

$$t = \frac{|\bar{X}_c - \bar{X}_a|}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n_c} + \frac{S_p^2}{n_a}}} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

$\bar{X}_c$	Media del CC
$\bar{X}_a$	Media del CA
$S_p^2$	Estimación de la varianza combinada (ecuación 2)
$n_c$	Número de ensayos del CC
$n_a$	Número de ensayos del CA

La varianza combinada, corresponde a la varianza media ponderada y usa los grados de libertad de cada muestra como factor de ponderación. Se calcula usando la ecuación 2.

$$S_p^2 = \frac{S_c^2(n_c - 1) + S_a^2(n_a - 1)}{n_c + n_a - 2} \quad (\text{EC. 2})$$

donde:

$S_p^2$	Estimación ponderada de la varianza
$n_c$	Número de ensayos del CC
$n_a$	Número de ensayos del CA
$S_c^2$	Varianza de los resultados del CC
$S_a^2$	Varianza de los resultados del CA

Para determinar el valor crítico de t, contra el cual comparar el valor t calculado, es necesario seleccionar el nivel de significación  $\alpha$  de la prueba. Como se discutiera anteriormente, se recomienda en una primera instancia considerar  $\alpha=0,01$ . Luego, de la Tabla 8.003.11.C, se determina el valor crítico de t,  $t_{\text{crit}}$ , para el número combinado de grados de libertad. El número combinado de grados de libertad es  $(n_c + n_a - 2)$ .

Una vez determinado  $t_{\text{crit}}$  de la Tabla 8.003.11.C, concluya de acuerdo al siguiente criterio:

- Si  $t \geq t_{\text{crit}}$ , entonces se decide que los dos conjuntos de muestras tienen medias significativamente diferentes.
- Si  $t < t_{\text{crit}}$  entonces no existe razón para pensar que las medias sean significativamente diferentes.

#### 4.2 Caso 2: Varianzas No Iguales

Si se acepta que las varianzas no son iguales, entonces, para calcular t, se usan las varianzas individuales y la estimación de un grado de libertad efectivo (a partir de los grados de libertad individuales) en vez de usar la varianza y grados de libertad combinados.

Para hacer la prueba-t, cuando se supone que las varianzas no son iguales se usa la ecuación 3.

$$t = \frac{|\bar{X}_c - \bar{X}_a|}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_c} + \frac{S_a^2}{n_a}}} \quad (\text{EC. 3})$$

donde:

$\bar{X}_c$	Media del CC
$\bar{X}_a$	Media del CA
$S_c^2$	Varianza del CC
$S_a^2$	Varianza del CA
$n_c$	Número de ensayos del CC
$n_a$	Número de ensayos del CA

Para determinar el valor crítico de t, contra el cual comparar el t calculado, es necesario seleccionar el nivel de significación  $\alpha$  de la prueba. Como se discutiera anteriormente, se recomienda en una primera instancia considerar un valor  $\alpha=0,01$ . Luego, se determina el valor crítico t,  $t_{crit}$ , de la Tabla 8.003.11.C para el número efectivo de grados de libertad. El número efectivo de grados de libertad se calcula de la ecuación 4.

$$f' = \frac{\left(\frac{S_c^2}{n_c} + \frac{S_a^2}{n_a}\right)^2}{\left(\frac{\left(\frac{S_c^2}{n_c}\right)}{n_c + 1} + \frac{\left(\frac{S_a^2}{n_a}\right)}{n_a + 1}\right)} - 2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde todos las variables se han descrito anteriormente.

Una vez determinado  $t_{crit}$  de la Tabla 8.003.11.C, concluya de acuerdo al siguiente criterio:

- Si  $t \geq t_{crit}$ , entonces los dos conjuntos de ensayos tienen medias significativamente diferentes.
- Si  $t < t_{crit}$ , no existe razón para pensar que las dos medias sean significativamente diferentes.

## 5.- Ejemplos de cálculo

### 5.1 Ejemplo Caso 1

El Contratista (Autocontrol) ha hecho 21 controles de contenido de asfalto y la Inspección ha hecho 8 controles de aceptación, durante el mismo periodo de tiempo. Los resultados se indican a continuación, y se plantea: ¿Es probable que los ensayos provengan de la misma población?

<b>Contratista (CC)</b>	<b>Inspección (CA)</b>
6,4	5,4
6,2	5,8
6,0	6,2
6,6	5,4
6,1	5,4
6,0	5,8
6,3	5,7
6,1	5,4
5,9	
5,8	
6,0	
5,7	
6,3	
6,5	
6,4	
6,0	
6,2	
6,5	
6,0	
5,9	
6,3	
21	8
6,15	5,64
0,0606	0,0855

Solución:

Paso 1 Se calculan las varianzas,  $S^2$   
 $S^2_c = 0,0606$      $S^2_a = 0,0855$

Paso 2 Se calcula F, usando la varianza mayor en el numerador

$$F = \frac{0,0855}{0,0606} = 1,41$$

Paso 3 Se determina  $F_{crit}$  de la Tabla 8.003.11.A ( $\alpha=0,01$ )

Grados de libertad numerador =  $8 - 1 = 7$

Grados de libertad denominador =  $21 - 1 = 20$

$F_{crit} = 4,26$

Conclusión  $F < F_{crit}$ ,  $1,41 < 4,26$ ; por lo tanto, no existe razón para pensar que los dos conjuntos de resultados tengan variabilidades diferentes. Es decir, pudieran provenir de la misma población. Ya que se supone varianzas iguales, se puede usar la varianza y grados de libertad combinados para calcular  $t_{crit}$ .

Paso 4 Calcular las medias

$$\bar{X}_c = 6,15 \quad \bar{X}_a = 5,64$$

Paso 5 Calcular la varianza combinada

$$S_p^2 = \frac{S_c^2 (n_c - 1) + S_a^2 (n_a - 1)}{n_c + n_a - 2}$$

$$S_p^2 = \frac{0,0606^2 (21 - 1) + 0,0855^2 (8 - 1)}{21 + 8 - 2} = 0,0671$$

Paso 6 Calcular el estadístico t

$$t = \frac{|\bar{X}_c - \bar{X}_a|}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n_c} + \frac{S_p^2}{n_a}}}$$

$$t = \frac{|6,15 - 5,64|}{\sqrt{\frac{0,067}{21} + \frac{0,067}{8}}} = 4,739$$

Paso 7 Determinar  $t_{crit}$  de Tabla 8.003.11.C

Grados de libertad =  $21 + 8 - 2 = 27$

Para  $\alpha=0,01$  y 27 grados de libertad,  $t_{crit}=2,771$

Conclusión Ya que  $t > t_{crit}$ ,  $4,739 > 2,771$ , se supone que las medias no son iguales. Por lo tanto, es probable que los dos conjuntos no provengan de la misma población.

## 5.2 Ejemplo Caso 2

Se han obtenido los siguientes resultados en deflexiones sobre un pavimento. El Contratista presenta 25 mediciones y la Inspección 10. ¿Es probable que provengan de la misma población?

	<b>Contratista (CC)</b>	<b>Inspección (CA)</b>
	214	347
	202	168
	245	162
	242	277
	231	203
	227	168
	235	200
	155	190
	179	113
	241	223
	186	
	159	
	170	
	200	
	242	
	146	
	197	
	160	
	231	
	208	
	146	
	187	
	220	
	242	
Número (n)	25	10
Media	201,2	205,1
Varianza	1152	4431

Solución:

Paso 1 Se calculan las varianzas,  $S^2$   
 $S_c^2 = 1152$   $S_a^2 = 4431$

Paso 2 Se calcula F, usando la varianza mayor en el numerador

$$F = \frac{4431}{1152} = 3,76$$

Paso 3 Se determina  $F_{crit}$  de la Tabla 8.003.11.A ( $\alpha=0,01$ )

Grados de libertad numerador =  $10 - 1 = 9$

Grados de libertad denominador =  $25 - 1 = 24$

$F_{crit} = 3,69$

Conclusión  $F > F_{crit}$ ,  $3,76 > 3,69$ ; por lo tanto, existe razón para pensar que los dos conjuntos de resultados tengan variabilidades diferentes. Es decir, pudieran provenir de poblaciones con varianzas distintas. Ya que se supone varianzas no iguales, se usan las varianzas individuales y grados de libertad efectivo para calcular  $t_{crit}$ .

Paso 4 Calcular las medias

$$\bar{X}_c = 201,2 \quad \bar{X}_a = 205,1$$

Paso 5 Calcular el estadístico t

$$t = \frac{|\bar{X}_c - \bar{X}_a|}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_c} + \frac{S_a^2}{n_a}}}$$

$$t = \frac{|205,1 - 201,2|}{\sqrt{\frac{1152}{25} + \frac{4431}{10}}} = 0,178$$

Paso 7 Determinar  $t_{crit}$  de Tabla 8.003.11.C

$$f' = \frac{\left( \frac{S_c^2}{n_c} + \frac{S_a^2}{n_a} \right)^2}{\left( \frac{\left( \frac{S_c^2}{n_c} \right)^2}{n_c + 1} + \frac{\left( \frac{S_a^2}{n_a} \right)^2}{n_a + 1} \right)} - 2$$

$$f' = \frac{\left(\frac{1152}{25} + \frac{4331}{10}\right)^2}{\left(\frac{\left(\frac{1152}{25}\right)^2}{25+1} + \frac{\left(\frac{4331}{10}\right)^2}{10+1}\right)} - 2 = 11$$

En el cálculo,  $f'$  se redondea a un número entero hacia abajo.  
Para  $\alpha=0,01$  y 11 grados de libertad,  $t_{crit}= 3,106$

**Conclusión** Ya que  $t < t_{crit}$ ;  $0,180 < 3,106$ , se supone que las medias son iguales. Por lo tanto, es probable que los dos conjuntos provengan de poblaciones que tienen la misma media.

**TABLA 8.003.11.A**  
**Prueba F: Valores Críticos,  $F_{crit}$ , para un nivel de significación  $\alpha = 0,01$ <sup>1</sup>**

GRADOS DE LIBERTAD DENOMINADOR		GRADOS DE LIBERTAD NUMERADOR																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	50	60	100	120
1	16212	19997	21614	22501	23056	23440	23715	23924	24091	24222	24334	24427	24632	24837	24937	25041	25146	25213	25254	25339	25358	
2	198.5	199.0	199.2	199.2	199.3	199.3	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.4	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5
3	55.55	49.80	47.47	46.20	45.39	44.84	44.43	44.13	43.88	43.68	43.52	43.39	43.08	42.78	42.62	42.47	42.31	42.21	42.15	42.02	41.99	
4	31.3	26.3	24.3	23.2	22.5	22.0	21.6	21.4	21.1	21.0	20.8	20.7	20.4	20.2	20.0	19.9	19.8	19.7	19.6	19.5	19.5	19.5
5	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.5	13.4	13.1	12.9	12.8	12.7	12.5	12.5	12.4	12.3	12.3	12.3
6	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.3	10.1	10.0	9.8	9.6	9.5	9.4	9.2	9.2	9.1	9.0	9.0	9.0
7	16.2	12.4	10.9	10.1	9.5	9.2	8.9	8.7	8.5	8.4	8.3	8.2	8.0	7.8	7.6	7.5	7.4	7.4	7.3	7.2	7.2	7.2
8	14.69	11.04	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34	7.21	7.10	7.01	6.81	6.61	6.50	6.40	6.29	6.22	6.18	6.09	6.06	6.06
9	13.61	10.11	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69	6.54	6.42	6.31	6.23	6.03	5.83	5.73	5.62	5.52	5.45	5.41	5.32	5.30	5.30
10	12.83	9.43	8.08	7.34	6.87	6.54	6.30	6.12	5.97	5.85	5.75	5.66	5.47	5.27	5.17	5.07	4.97	4.90	4.86	4.77	4.75	4.75
11	12.23	8.91	7.60	6.88	6.42	6.10	5.86	5.68	5.54	5.42	5.32	5.24	5.05	4.86	4.76	4.65	4.55	4.49	4.45	4.36	4.34	4.34
12	11.75	8.51	7.23	6.52	6.07	5.76	5.52	5.35	5.20	5.09	4.99	4.91	4.72	4.53	4.43	4.33	4.23	4.17	4.12	4.04	4.01	4.01
15	10.80	7.70	6.48	5.80	5.37	5.07	4.85	4.67	4.54	4.42	4.33	4.25	4.07	3.88	3.79	3.69	3.59	3.52	3.48	3.39	3.37	3.37
20	9.94	6.99	5.82	5.17	4.76	4.47	4.26	4.09	3.96	3.85	3.76	3.68	3.50	3.32	3.22	3.12	3.02	2.96	2.92	2.83	2.81	2.81
24	9.55	6.66	5.52	4.89	4.49	4.20	3.99	3.83	3.69	3.59	3.50	3.42	3.25	3.06	2.97	2.87	2.77	2.70	2.66	2.57	2.55	2.55
30	9.18	6.35	5.24	4.62	4.23	3.95	3.74	3.58	3.45	3.34	3.25	3.18	3.01	2.82	2.73	2.63	2.52	2.46	2.42	2.32	2.30	2.30
40	8.83	6.07	4.98	4.37	3.99	3.71	3.51	3.35	3.22	3.12	3.03	2.95	2.78	2.60	2.50	2.40	2.30	2.23	2.18	2.09	2.06	2.06
60	8.49	5.79	4.73	4.14	3.76	3.49	3.29	3.13	3.01	2.90	2.82	2.74	2.57	2.39	2.29	2.19	2.08	2.01	1.96	1.86	1.83	1.83
120	8.18	5.54	4.50	3.92	3.55	3.28	3.09	2.93	2.81	2.71	2.62	2.54	2.37	2.19	2.09	1.98	1.87	1.80	1.75	1.64	1.61	1.61
∞	7.88	5.30	4.28	3.72	3.35	3.09	2.90	2.74	2.62	2.52	2.43	2.36	2.19	2.00	1.90	1.79	1.67	1.59	1.53	1.40	1.36	1.36

<sup>1</sup> Válido para una prueba de dos colas con hipótesis nula y alternativa de acuerdo a:

$H_0 : S_c^2 = S_a^2 ; H_a : S_c^2 \neq S_a^2$

**Tabla 8.003.11.B**  
**Prueba F: Valores Críticos,  $F_{crit}$  para un nivel de significación  $\alpha = 0,05$**

		<b>GRADOS DE LIBERTAD NUMERADOR</b>																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	50	60	100	120
GRADOS DE LIBERTAD DENOMINADOR	1	648	799	864	900	922	937	948	957	963	969	973	977	985	993	997	1001	1006	1008	1010	1013	1014
	2	38.5	39.0	39.2	39.2	39.3	39.3	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
3	17.4	16.0	15.4	15.1	14.9	14.7	14.6	14.5	14.5	14.5	14.4	14.4	14.3	14.3	14.2	14.1	14.1	14.0	14.0	14.0	14.0	13.9
4	12.2	10.6	10.0	9.6	9.4	9.2	9.1	9.0	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3
5	10.0	8.4	7.8	7.4	7.1	7.0	6.9	6.8	6.7	6.6	6.6	6.6	6.5	6.4	6.3	6.3	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1
6	8.8	7.3	6.6	6.2	6.0	5.8	5.7	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	5.1	5.1	5.0	5.0	5.0	4.9	4.9
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.71	4.67	4.67	4.57	4.47	4.41	4.36	4.31	4.28	4.25	4.21	4.20
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.24	4.20	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.81	3.78	3.74	3.73
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.91	3.87	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.47	3.45	3.40	3.39
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.66	3.62	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.22	3.20	3.15	3.14
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.47	3.43	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.03	3.00	2.96	2.94
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.32	3.28	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.87	2.85	2.80	2.79
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	3.01	2.96	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.55	2.52	2.47	2.46
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.72	2.68	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.25	2.22	2.17	2.16
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.59	2.54	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.11	2.08	2.02	2.01
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.46	2.41	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.97	1.94	1.88	1.87
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.33	2.29	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.83	1.80	1.74	1.72
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.22	2.17	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.70	1.67	1.60	1.58
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.10	2.05	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.56	1.53	1.45	1.43
$\infty$	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.99	1.94	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.43	1.39	1.30	1.27

**TABLA 8.003.11.C**  
**Prueba t\*, valores críticos, t<sub>crit</sub>, para distintos niveles de significación**

<b>Grados de Libertad</b>	<b>α = 0,01</b>	<b>α = 0,05</b>	<b>α = 0,10</b>
1	63.656	12.706	6.314
2	9.925	4.303	2.920
3	5.841	3.182	2.353
4	4.604	2.776	2.132
5	4.032	2.571	2.015
6	3.707	2.447	1.943
7	3.499	2.365	1.895
8	3.355	2.306	1.860
9	3.250	2.262	1.833
10	3.169	2.228	1.812
11	3.106	2.201	1.796
12	3.055	2.179	1.782
13	3.012	2.160	1.771
14	2.977	2.145	1.761
15	2.947	2.131	1.753
16	2.921	2.120	1.746
17	2.898	2.110	1.740
18	2.878	2.101	1.734
19	2.861	2.093	1.729
20	2.845	2.086	1.725
21	2.831	2.080	1.721
22	2.819	2.074	1.717
23	2.807	2.069	1.714
24	2.797	2.064	1.711
25	2.787	2.060	1.708
26	2.779	2.056	1.706
27	2.771	2.052	1.703
28	2.763	2.048	1.701
29	2.756	2.045	1.699
30	2.750	2.042	1.697
40	2.704	2.021	1.684
60	2.660	2.000	1.671
120	2.617	1.980	1.658
∞	2.576	1.960	1.645

\* Válido para una prueba de dos colas con hipótesis nula y alternativa de acuerdo a:  
H<sub>0</sub>:  $\bar{X}_c = X_a$ ; H<sub>a</sub>:  $X_c \neq X_a$

## **8.003.12 REGLAMENTO PARA LA CAPACITACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LABORATORISTAS VIALES**

### **1. El Laboratorista Vial**

- a) El laboratorista vial es el encargado de realizar los muestreos, ensayos, mediciones y análisis necesarios para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de las obras, conforme a la normativa vigente, en lo que dice relación a la calidad de los materiales empleados, métodos de ensaye utilizados, requisitos de diseño y otros aspectos relacionados con la ejecución de éstas.
- b) El ingreso al Sistema de Acreditación de Laboratoristas Viales será a través de la aprobación del primer curso, denominado clase "C", que se dictará en regiones de acuerdo con la programación que anualmente preparará el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV).
- c) El LNV llevará un registro de todos los laboratoristas que participen en el control de calidad vial. Para tales efectos, los laboratoristas viales se clasifican en tres niveles o clases "A", "B" y "C".

El Laboratorista Vial clase "C" es el encargado de realizar los ensayos rutinarios de control, bajo la supervisión de un laboratorista "A" o "B".

El Laboratorista Vial clase "B", segundo eslabón de esta cadena, está capacitado para dirigir un laboratorio de faena en obras de pequeña a mediana envergadura, bajo la supervisión del profesional a cargo de la obra, para lo que debe conocer y dominar las técnicas de muestreo y ensaye, evaluación e interpretación de resultados, confección y emisión de informes y manejo de personal (laboratoristas). Un laboratorista clase "B" sólo podrá tener a su cargo un laboratorio cuando posea una experiencia mínima de dos años en faena.

El Laboratorista Vial clase "A", dado el mayor nivel de conocimientos y experiencia adquiridos, está habilitado para administrar laboratorios de faena en obras de mediana a gran envergadura, bajo la supervisión del profesional a cargo de la obra, para lo que, además de dominar las materias requeridas para el nivel "B", debe estar capacitado para manejar información técnica y administrativa del desarrollo del Contrato vial, control de calidad de los materiales, dosificaciones y diversos aspectos constructivos.

### **2.- Del Registro de Laboratoristas Viales**

- a) En el presente Número 2. se establece la reglamentación por la que se regirá el Registro Nacional de Laboratoristas Viales. Este Registro Nacional constituye una base de datos relativa a los laboratoristas viales clases "A", "B" y "C", que presten servicios para el Estado o para empresas particulares en el control de calidad de obras viales.

Este Registro obedece a la necesidad de la Dirección de Vialidad de llevar el indispensable control de las personas que participan en el control de calidad de las obras viales, y como una manera de especificar y delimitar adecuadamente el nivel de preparación de dicho personal.

- b) Los antecedentes mínimos que debe contener el Registro son: nombre completo del laboratorista, cédula de identidad, fecha de nacimiento, N° de licencia, clase, vencimiento, licencia anterior (si la tuviera) y una columna de observaciones que permita identificar si es laboratorista fiscal o si se encuentra acogido al beneficio de renovación sin examen.

El Registro está constituido por un archivo computacional. Las hojas de vida de los libros se consideraran información complementaria al Registro e incluirán resultados de cursos, exámenes libres, beneficios de prórroga o renovación sin examen, anotaciones de buen o mal desempeño o alguna observación que el LNV considere pertinente.

### 3.- De las Licencias

- a) Podrán obtener licencia de laboratorista vial aquellos postulantes que cumplan con los siguientes requisitos:

#### Licencia Clase "C"

Para obtener licencia clase "C", el postulante deberá aprobar el curso correspondiente a este nivel y presentar además los siguientes antecedentes:

- Licencia de enseñanza media o de estudios superiores
- Currículum vitae actualizado y debidamente firmado
- Certificado de antecedentes

#### Licencia Clase "B"

Para obtener licencia clase "B", el postulante deberá aprobar el curso de laboratorista vial clase "B". Los requisitos para participar son:

- Cuatro años de experiencia acreditada como laboratorista vial clase "C"
- Licencia de enseñanza media o de estudios superiores
- Currículum vitae actualizado y debidamente firmado
- Certificado de antecedentes
- Licencia clase "C" al día

De no llevarse a cabo un curso clase "B" programado, el LNV fijará una fecha para un "Examen Único" que permita, mediante aprobación, obtener la licencia clase "B", a aquellos laboratoristas que se ajusten a los requisitos mencionados en el Punto 4.1 de este Tópico y que se hubiesen inscrito en el listado oficial del curso, habiendo confirmado su participación.

#### Licencia Clase "A"

Para obtener licencia clase "A", el postulante deberá aprobar el curso de Laboratorista Vial clase "A". Los requisitos son:

- Ocho años de experiencia acreditada como laboratorista vial clase "B" o cuatro años si la licencia "B" fue obtenida mediante la aprobación del curso correspondiente a este nivel
- Currículum vitae actualizado y debidamente firmado
- Certificado de antecedentes
- Tener su licencia clase "B" al día

De no llevarse a cabo un Curso Clase "A" programado, el LNV fijará una fecha para un "Examen Único" que permita, mediante aprobación, obtener la licencia clase "A" a aquellos laboratoristas que se ajusten a los requisitos mencionados en el Punto 4.1 de este Tópico y que se hubiesen inscrito en el listado oficial del curso, habiendo confirmado su participación.

- b) Aquellos laboratoristas viales que ingresaron al Sistema de Acreditación con anterioridad a diciembre de 2003, podrán eximirse del requisito de educación mínima (licencia de enseñanza media) solamente si renuevan su licencia en el mismo nivel ("A", "B" o "C").
- c) Dependiendo del nivel, la duración de las licencias de laboratorista vial será la siguiente:

#### Licencia "C"

- Cuatro años.

#### Licencia "B"

- Seis años, si la licencia se obtiene mediante la aprobación del curso de laboratorista vial clase "B", impartido por el LNV.
- Cuatro años si la licencia se obtiene a través de "Examen Único" correspondiente a este nivel.

### **Licencia "A"**

- Seis años, si la licencia se obtiene mediante la aprobación del curso de laboratorista vial clase "A", impartido por el LNV.
  - Cuatro años, si la licencia se obtiene a través de "Examen Único" correspondiente a este nivel.
- d)** El período de vigencia de las respectivas licencias se iniciará en la fecha en que los postulantes aprueben el último examen teórico y/o práctico que les permitió obtener dicho documento.
- e)** Los laboratoristas viales que hayan ingresado al Sistema de Acreditación con posterioridad al 21 de diciembre de 2001 y cuya licencia se haya obtenido mediante la aprobación del curso respectivo, podrán eximirse de rendir el examen al momento de renovar su licencia en los niveles "A" y "B", después de 8 y 10 años de experiencia acreditada, respectivamente, cumpliendo con al menos una renovación en el nivel de licencia a mantener.

Para los laboratoristas cuyas licencias hayan sido emitidas con anterioridad al 31 de diciembre de 2001, los requisitos para acogerse al beneficio de renovar sin tener que rendir examen son los siguientes:

- Los laboratoristas con licencia clase "C" mayores de 50 años deben contar con al menos 12 años de experiencia acreditada.
- Los laboratoristas con licencia clase "B" deben tener como mínimo 10 años de experiencia acreditada, si realizaron y aprobaron el curso correspondiente y al menos 14 años, si obtuvieron la licencia a través de examen libre.
- Los laboratoristas con licencia clase "A" mayores de 50 años deben contar con al menos 10 años de experiencia acreditada y aquellos menores de 50 años, con al menos 12 años.

Además de los años de experiencia acreditada, el laboratorista vial que cumpla los requisitos para eximirse de los exámenes al momento de renovar debe cumplir con al menos una renovación en el nivel a mantener y tener su licencia al día.

Los laboratoristas viales que se acojan a este beneficio deberán presentar la siguiente documentación:

- Certificado de antecedentes.
- Certificados de asistencia a los cursos de capacitación que se hayan impartido en el LNV en el periodo de vigencia de la licencia que está renovando.
- Currículum vitae actualizado y debidamente documentado.
- Dos fotos con nombre y cedula de identidad.

El cumplimiento de los periodos de renovación exigidos no implica en ningún caso la automática renovación de la licencia sin la presentación y aprobación de los antecedentes por parte del LNV, el que se reserva el derecho de no renovar o caducar las licencias, según los antecedentes de las hojas de vida del laboratorista u otros que así lo ameriten.

- f)** La actualización de licencias vencidas clase "A", "B" y "C" se realizará en las siguientes condiciones:

Con fecha de vencimiento menor o igual que 10 años, se deberán realizar los exámenes de renovación teóricos correspondientes.

Con fecha de vencimiento mayor que 10 años y menor o igual que 15 años, se deberán realizar los exámenes teóricos y prácticos correspondientes.

Con fecha de vencimiento mayor que 15 años y menor o igual que 20 años, se deberá realizar el curso de laboratorista correspondiente.

Con fecha de vencimiento mayor que 20 años, se eliminará del Sistema de Acreditación de Laboratorista Vial.

g) En caso de extravío de la licencia de laboratorista vial, el afectado podrá solicitar un duplicado de ella, para lo que se exigirá presentar en el LNV la constancia correspondiente ante Carabineros de Chile. Esta constancia deberá incluir el nombre, fecha y detalle del documento extraviado.

h) La licencia, sea de clase "A" "B" o "C", podrá ser suspendida o anulada en los casos siguientes:

**Falta Leve:** suspensión por un periodo de 6 meses a un año, si por motivos no justificados el laboratorista vial abandona la obra en cuyo control de calidad trabaja, no estando aquella finalizada, generando atrasos u otros inconvenientes; lo mismo ocurrirá ante otras transgresiones consideradas faltas leves por el Jefe del Laboratorio Nacional de Vialidad. La sanción quedará registrada en la hoja de vida.

**Falta Grave:** suspensión de más de dos años, pudiendo llegar a la anulación de la licencia, en aquellas situaciones en que el desempeño del laboratorista vial transgreda la probidad y transparencia en sus funciones, tales como falsificación de datos en el análisis e información de éstos, adulteración de la licencia, y otras transgresiones consideradas faltas graves por el Jefe del Laboratorio Nacional de Vialidad. La sanción quedará registrada en la hoja de vida.

#### 4.- De los Exámenes

##### 4.1 Exámenes Únicos

###### 4.1.1 Examen Único para obtención de licencia clase "B"

a) Aquellos postulantes a licencia "B" que no realicen el curso correspondiente, podrán excepcionalmente rendir un Examen Único si cumplen los siguientes requisitos: estar inscritos en el listado oficial del curso, habiendo confirmado su participación, contar con 4 años de experiencia acreditada si la licencia clase "C" fue obtenida mediante la aprobación del curso correspondiente. Para los laboratoristas viales con licencias clase "C" obtenidas por el sistema antiguo se exigirá una experiencia acreditada mínima de 6 años. En este examen se evaluarán las materias impartidas en el correspondiente curso de laboratorista vial.

b) Este Examen Único estará constituido por 2 partes:

- Examen teórico-escrito, que debe ser rendido por todos los postulantes.
- Examen oral-práctico, que será rendido sólo por aquellos que aprueben el examen teórico-escrito.

Se deberán aprobar en forma independiente ambos exámenes.

c) La nota mínima de aprobación será 5,0 y corresponderá al promedio de las áreas examinadas. Se exigirá además una nota por área no inferior a 4,0. Este criterio es válido para los exámenes teóricos y prácticos.

Sólo una vez aprobados los exámenes teórico y práctico en forma independiente, se procederá a promediar las notas para obtener la calificación final.

d) Este Examen Único se tomará en el LNV y también en regiones, de acuerdo con la programación previamente definida.

e) No se autorizará rendir examen a aquellos postulantes que no porten y exhiban su carné de identidad vigente y en buenas condiciones, cuando les sea requerido.

###### 4.1.2 Examen Único para obtención de licencia clase "A"

a) Aquellos postulantes a licencia "A" que no realicen el curso correspondiente, podrán excepcionalmente rendir, un Examen Único si cumplen los siguientes requisitos: estar inscritos en el listado oficial del curso, habiendo confirmado su participación, contar con 4 años de experiencia acreditada, si la licencia clase "B" fue obtenida mediante la aprobación del curso correspondiente y 8

años si fue obtenida por Examen Único o examen libre (correspondiente al sistema antiguo). En este examen se evaluarán las materias impartidas en el correspondiente curso de laboratorista vial.

- b) El Examen Único estará constituido por 1 examen teórico-escrito.
- c) La nota mínima de aprobación es 5,0 y corresponderá al promedio de las áreas examinadas. Se exigirá además una nota por área no inferior a 4,0.
- d) El Examen Único se tomará en el LNV y también en regiones, de acuerdo con la programación previamente definida.
- e) No se autorizará rendir examen a aquellos postulantes que no porten y exhiban su carné de identidad vigente y en buenas condiciones, cuando les sea requerido.

#### **4.2 De los Exámenes de Renovación**

- a) Deben renovar aquellos laboratoristas viales cuyas licencias se encuentren vencidas o próximas a caducar.
- b) En estos exámenes se evaluarán las materias impartidas en los correspondientes cursos de laboratorista vial.
- c) Normalmente, no se tomarán exámenes en Santiago durante el periodo en que se realicen los cursos de laboratorista vial. Sin embargo, el LNV podrá ocasionalmente fijar fechas de examen dentro de ese periodo, lo que será oportunamente informado.
- d) La nota mínima de aprobación será 5,0 y corresponderá al promedio de las áreas examinadas. Se exigirá además una nota por área no inferior a 4,0.
- e) Los postulantes, cualquiera sea el nivel, tendrán tres opciones de aprobar el examen en un período máximo de 1 año. Si transcurrido ese lapso no lo aprobaren, podrán rendirlo nuevamente un año después, respecto de la fecha del último examen. En ese caso, tendrán dos opciones adicionales consecutivas para aprobar, debiendo rendir todas las áreas. De persistir en las reprobaciones, el postulante quedará inhabilitado por un periodo de tres años para rendir nuevamente el examen, el que se contabilizará a partir de la fecha su última prueba. En este caso, el postulante tendrá una opción única para aprobar, debiendo rendir el examen completo.
- f) Se establece que aquellos postulantes que queden inhabilitados para dar examen por determinados periodos tras reprobaciones consecutivas, podrán optar a una licencia del nivel inmediatamente inferior a la que poseían a esa fecha, para dichos periodos. Esto rige para los laboratoristas niveles "A" y "B".

En el caso de reprobación un examen en un área determinada, el postulante sólo podrá conservar las calificaciones de aquellas áreas en las que haya obtenido una nota mayor o igual a 5,0, dentro del periodo reglamentario pertinente.

- g) Los exámenes libres para acceder a una licencia vial normalmente se tomarán en el LNV y también en regiones, de acuerdo con la programación previamente definida.
- h) No se autorizará rendir examen a aquellos postulantes que no porten y exhiban su carné de identidad vigente y en buenas condiciones, cuando les sea requerido.

#### **4.3 Del Desarrollo de los Exámenes**

- a) Se exigirá puntualidad en el cumplimiento de la hora fijada para el examen.
- b) El postulante deberá presentarse a dar el examen con un lápiz grafito, un lápiz pasta, una goma y una calculadora científica. Durante el desarrollo del examen no se autorizará el intercambio de ninguno de estos elementos.

- c) No se permitirá el uso de material de consulta (apuntes o libros) durante el desarrollo de los exámenes, a excepción de formularios u otros documentos entregados por el examinador al inicio de la evaluación.

## 5.- De los Cursos de Laboratorista Vial

### 5.1 Curso de Laboratorista Vial Clase “C”

- a) El curso tiene una duración aproximada de 180 horas, se imparte en jornada diurna y/o vespertina y está dividido en cinco módulos:
- Módulo I : Matemáticas
  - Módulo II : Introducción al Control de Calidad
  - Módulo III : Geotecnia
  - Módulo IV : Asfalto
  - Módulo V : Hormigón
- b) El LNV podrá delegar, cuando lo estime conveniente, el desarrollo del curso para obtención de licencia de laboratorista vial clase “C”.
- c) Para postular al curso se deberán presentar los siguientes antecedentes:
- Carta de postulación enviada a la Región respectiva o al LNV
  - Currículum vitae actualizado y debidamente firmado, con dos fotos a color tamaño carné
  - Licencia de enseñanza media o de estudios superiores
- d) Los postulantes al curso deberán someterse a un examen de selección de matemáticas, nivel enseñanza media.
- e) Para aprobar el curso de laboratorista vial clase “C” se deberán cumplir requisitos mínimos de asistencia (80% clases teóricas y 100% sesiones de laboratorio) y de calificación. Esta se efectuará en una escala de 1 a 7, con un decimal.
- f) Para obtener la licencia clase “C”, el alumno deberá aprobar el curso con una nota final (NF) mayor o igual a 5,0 y una nota mínima de 4,0 en cada uno de los módulos por separado.

La nota final se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NF = \text{Matemáticas} * 0,1 + (\text{Introd. al C.deCal.}) * 0,1 + \frac{(\text{Geotecnia} + \text{Asfalto} + \text{Hormigón})}{3} * 0,8$$

- g) El alumno que no alcance la nota final mínima requerida o que obtenga en uno o más módulos una calificación menor que la exigida, se considerará reprobado para los efectos de otorgamiento de licencia.

### 5.2 Curso de Laboratorista Vial clase “B”

- a) El curso tiene una duración aproximada de 560 horas, se imparte en jornada completa y está dividido en seis módulos:
- Módulo I : Matemáticas
  - Módulo II : Ciencias Básicas
  - Módulo III : Geotecnia
  - Módulo IV : Asfalto
  - Módulo V : Hormigón
  - Módulo VI : Auscultaciones

- b)** El LNV podrá delegar, cuando lo estime conveniente, el desarrollo del curso para obtención de licencia de laboratorista vial clase “B”.
- c)** Para postular al curso se deberán presentar los siguientes antecedentes:
- Carta de postulación enviada a la Región respectiva o al LNV
  - Currículum vitae actualizado y debidamente firmado, con dos fotos a color tamaño carné
  - Licencia de enseñanza media o de estudios superiores
- d)** Los postulantes al curso deberán someterse a un examen de selección de matemáticas, nivel enseñanza media.
- e)** Para aprobar el curso de laboratorista vial clase “B” se deberán cumplir requisitos mínimos de asistencia (80% clases teóricas y 100% sesiones de laboratorio) y de calificación. Esta se efectuará en una escala de 1 a 7, con un decimal.
- f)** Para obtener la licencia clase “B”, el alumno deberá aprobar el curso con una nota final (NF) mayor o igual que 5,0 y una nota mínima de 4,0 en cada uno de los módulos por separado.

La nota final se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NF = \text{Matemáticas} * 0,1 + \text{Cs.Básicas} * 0,05 + \frac{(\text{Geotecnia} + \text{Asfalto} + \text{Hormigón} + \text{Auscultaciones})}{4} * 0,85$$

- g)** El alumno que no alcance la nota final mínima requerida o que obtenga en uno o más módulos una calificación menor que la exigida, se considerará reprobado para los efectos de otorgamiento de licencia.
- h)** Se establece que una vez terminado el último módulo del curso de laboratorista vial clase “B”, se realizará el “Curso de Operación de Equipos Nucleares”, el que no constituye un requisito para optar a la licencia de laboratorista vial clase “B”. Sin embargo, los alumnos que aprueben dicho curso podrán tramitar su licencia de operación de equipos nucleares y contratar el servicio de densimetría requerido. Este curso cuenta actualmente con el reconocimiento del Servicio de Salud del Ambiente, Región Metropolitana.

### 5.3 Curso de Laboratorista Vial clase “A”

- a)** El curso tiene una duración aproximada de 205 horas, se imparte en jornada vespertina y está dividido en seis módulos:
- Módulo I : Ciencias Básicas
  - Módulo II : Caminos
  - Módulo III : Geotecnia
  - Módulo IV : Asfalto
  - Módulo V : Hormigón
  - Módulo VI : Auscultaciones
- b)** El LNV podrá delegar, cuando lo estime conveniente, el desarrollo del curso para obtención de licencia de laboratorista vial clase “A”.
- c)** Para postular al curso se deberán presentar los siguientes antecedentes:
- Carta de postulación enviada a la Región respectiva o al LNV
  - Currículum vitae actualizado y debidamente firmado, con dos fotos a color tamaño carné
  - Licencia de enseñanza media o de estudios superiores
- d)** Los postulantes al curso deberán someterse a un examen de selección de matemáticas, nivel enseñanza media.

- e) Para aprobar el curso de laboratorista vial clase "A" se deberán cumplir requisitos mínimos de asistencia (90%) y de calificación. Esta última se efectuara en una escala de 1 a 7, con un decimal.
- f) Para obtener la licencia clase "A", el alumno deberá aprobar el curso con una nota fina (NF) mayor o igual que 5,0 y una nota mínima de 4,0 en cada uno de los módulos por separado.

La nota final se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NF = Cs.Básicas * 0,1 + \frac{(Caminos+Geotecnia+Asfalto+Hormigón+Auscultaciones)}{5} * 0,9$$

- g) El alumno que no alcance la nota final mínima requerida o que obtenga en uno o más módulos una calificación menor a la exigida, se considerará reprobado para los efectos de otorgamiento de licencia.

#### 6.- Situaciones especiales

Todos los casos excepcionales que por diversas razones no se enmarquen o no estén contemplados dentro de los artículos que conforman el presente Reglamento, serán analizados y resueltos sin lugar a apelación por el Ingeniero Jefe del Laboratorio Nacional de Vialidad.

## SECCION 8.004 GLOSARIO DE TERMINOS

**Abrasión.-** Proceso de desgaste producido en una superficie por pérdidas de material causadas por agentes externos.

**Absorción de Agua.-** Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

**Acopio.-** Acumulación planificada de materiales destinados a la construcción de una obra.

**Aditivos (asfaltos modificados).-** Productos, normalmente polímeros, que se agregan a un cemento asfáltico, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.

**Aditivos (estabilización química de suelos).-** Productos de origen natural o químico que se mezclan con los suelos con el propósito de estabilizarlos. Normalmente producen una cementación, aumentan la capacidad de soporte y la impermeabilización.

**Aditivos (hormigón).-** Materiales, además del cemento, agua y áridos, que se añaden al hormigón o mortero inmediatamente antes o durante el mezclado. Su objetivo es modificar, acentuar o conferir alguna propiedad que de por sí la mezcla no posee y hacerla temporal o permanente durante su estado fresco o endurecido.

**Agregado Pétreo.-** Arido compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

**Agua de Amasado.-** Agua utilizada para hidratar el cemento en la confección de un hormigón o mortero y que debe cumplir requisitos químicos básicos en cuanto a pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y materias orgánicas.

**Agua Libre (suelos).-** Agua presente en un suelo que se puede evacuar por la acción de la gravedad, mediante un sistema de drenaje subterráneo.

**Agua Libre (hormigón).-** Agua utilizada para otorgar trabajabilidad a la mezcla de hormigón fresco.

**Ahuellamiento (pavimento flexible).-** Depresión longitudinal del pavimento que coincide con la zona donde pasan con mayor frecuencia las ruedas de los vehículos (huella).

**Alabeo.-** Deformación de curvatura de una losa de hormigón, producida por gradientes de temperatura o por la acción del agua (alabeo hídrico).

**Alargamiento de una Partícula.-** Es la relación entre el largo y el ancho de una partícula de suelo.

**Alícuota.-** Parte que corresponde a una cantidad o fracción definida de un todo.

**Análisis Hidrométrico (suelos).-** Método para determinar el tamaño de las partículas más pequeñas de un suelo (normalmente menores que 0,08 mm), basado en la velocidad de sedimentación en un líquido.

**Aparato Casagrande.-** Ver 8.102.3.

**Aparato Marshall.-** Ver 8.302.40.

**Arcilla.-** Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.

**Area Superficial.-** Ver 8.202.13.

**Arena.-** Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

**Arido.-** Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

**Arido Combinado.-** Arido resultante de la combinación de arido fino y arido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la fabricación de un hormigón.

**Arido Fino.-** Arido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,08 mm.

**Arido Grueso.-** Arido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto.

**Arido Integral.-** Arido grueso y árido fino mezclados en proporción no definida.

**Arido Natural.-** Arido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.

**Arido Tratado.-** Arido que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado, en operaciones mecánicas controladas.

**Arista de un Pétreo.-** Línea que resulta de la intersección de dos superficies fracturadas.

**Asentamiento de Suelos.-** Descenso vertical de la superficie del terreno o del terraplén, debido a la consolidación o fallas del suelo.

**Asentamiento del Hormigón.-** Descenso del cono que experimenta una muestra de hormigón fresco ensayada de acuerdo con el Método 8.402.7, y que se utiliza como indicador de la docilidad.

**Asfaltenos.-** Componentes de los asfaltos, solubles en tricloroetileno, pero insolubles en ciertos hidrocarburos parafínicos livianos. Le confieren la propiedad de dureza a los asfaltos.

**Asfalto Cortado.-** Cemento asfáltico fluidificado con disolventes de petróleo. Su volatilidad depende del tipo de disolvente utilizado.

**Asfalto Modificado.-** Material que se obtiene al modificar un cemento asfáltico con un polímero, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.

**Asociación Molecular.-** Se refiere a la asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse incluso después de pocas horas de almacenamiento.

**Autopista.-** Carretera especialmente proyectada para que circulen exclusivamente vehículos motorizados destinados al transporte de personas y/o mercancías, y que tiene todos sus accesos y salidas controladas, los propietarios colindantes no tienen acceso directo a la calzada, todas las intersecciones son a desnivel, y las calzadas para cada sentido de circulación son separadas o cuentan con elementos separadores que impiden la interacción entre vehículos que circulan en sentidos opuestos. Para los efectos de la señalización y seguridad vial debe asociarse a una velocidad de diseño de 120 km/h.

**Bache.-** Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

**Badén.-** Cruce empedrado que se hace en un camino para dar paso a un corto caudal de agua.

**Barras de Amarre (pavimento).-** Barras de acero redondo con resaltes que se instalan habitualmente en las juntas de construcción, tanto longitudinales como transversales, con el objetivo de impedir la separación entre pistas continuas en el primer caso y asegurar el empotramiento entre el hormigón antiguo y el nuevo, en el segundo. Se colocan de manera que ambos extremos queden empotrados. Si la junta de construcción transversal coincide con la junta de contracción, ésta debería funcionar como barra de traspaso de carga.

**Barras de Traspaso de Cargas (pavimento).-** Barras de acero redondo que se instalan en las juntas de contracción con el objetivo de transferir (distribuir) parte de la carga que solicita una losa a la vecina; se colocan de manera que un extremo quede empotrado y el otro pueda deslizarse.

**Base Abierta Ligada.-** Ver 8.101.1.

**Base Asfáltica.-** Capa conformada por una mezcla de agregados pétreos ligados con un producto asfáltico y que cumple con ciertos requisitos (generalmente se usa una granulometría gruesa).

**Base Granular.-** Ver Base no Ligada.

**Base no Ligada.-** Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

**Base Tratada con Cemento.-** Ver 8.101.1.

**Binder Asfáltico (capa intermedia).-** Capa conformada por agregados pétreos, ligados con un producto asfáltico y que cumple con ciertos requisitos (generalmente se coloca entre la capa asfáltica de rodadura y la base asfáltica).

**Bloque.-** Fragmento de roca mayor a 300 mm.

**Bolón.-** Fragmento de roca entre 80 y 300 mm.

**Bombeo (diseño).** Pendiente transversal de la superficie de rodadura en las tangentes de una obra vial, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua.

**Bombeo (hormigón).** Véase: Surgencia de Finos.

**Broca.** Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigerado por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos.

**Caja (pavimento).** Ranura que se forma en la parte superior de las juntas y que sirve para alojar el cordón de respaldo y el sellante.

**Calamina.** Ondulaciones de la superficie del camino que tienen su origen en un movimiento plástico de los suelos que la conforman, causadas por las ruedas de los vehículos. El fenómeno puede deberse a varias razones pero, con mayor frecuencia, se produce en capas conformadas por partículas de tamaño relativamente grande ligadas con un suelo fino y sin o con pocos tamaños intermedios, es decir, suelos que tienen una granulometría discontinua.

**Calicata.** Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, etc., para determinar, identificar y clasificar los materiales constituyentes de los suelos de fundación, a través de estratigrafía y ensayos.

**Calor de Hidratación.** Cantidad de calor liberado durante el proceso exotérmico de reacción del cemento con el agua.

**Capa Asfáltica de Protección.** Tratamiento asfáltico que se le hace a la superficie de un camino para crear una superficie de rodadura económica, prevenir la penetración de aguas o minimizar la pérdida de agregados de una capa asfáltica.

**Capa Asfáltica Estructural.** Mezcla conformada por agregados pétreos ligados con un producto asfáltico y que cumple con los requisitos para soportar las sollicitaciones que genera el tránsito.

**Capa de Rodadura.** Capa superficial de un camino que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.

**Carga en Eje Doble.** Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un tándem conformado por dos ejes, generalmente de doble rueda.

**Carga en Eje Simple.** Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un eje de rueda doble o simple.

**Capa Asfáltica.** Capa compuesta de una mezcla de agregados pétreos ligados con asfalto y apoyada sobre capas de sustentación.

**CBR.** El índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

**Cemento Asfáltico.** Material obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos.

**Cemento Portland.** Producto obtenido de la pulverización de *clínquer*, mezclado con sulfato de calcio (yeso) finamente molido. Tiene la propiedad de fraguar por hidratación y obtener gran dureza.

**Cemento Portland Puzolánico.** Cemento Portland al que se le ha añadido puzolanas en una cantidad inferior a 30%. Estas sustancias en sí mismas no tienen propiedades conglomerantes, pero reaccionan con

la cal a la temperatura ordinaria para formar compuestos estables insolubles con propiedades conglomerantes.

**Cemento Portland Siderúrgico.-** Cemento Portland que contiene menos de 30% de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

**Cemento Puzolánico.-** Cemento Portland al que se le ha añadido puzolanas entre 30% y 50%.

**Cemento Siderúrgico.-** Cemento Portland que contiene entre 30% y 75% de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

**Cepillado (pavimento).-** Ranurado superficial de la superficie cuyo objetivo es reducir irregularidades. Se debe ejecutar con una máquina especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie.

**Clínquer .-** Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio hidráulico, que se obtiene por calcinación hasta la fusión (1400 – 1500 °C) de una mezcla proporcionada de minerales calizos y arcillosos.

**Coefficiente de Capa.-** Factor para transformar el espesor de una capa estructural del pavimento en el Número Estructural (Método AASHTO de diseño de pavimentos).

**Coefficiente de Curvatura de un Suelo.-** Coeficiente que evalúa la regularidad de la curva granulométrica, la cual representa la distribución por tamaño de las partículas de una muestra de suelo. Este coeficiente se determina como

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}, \text{ en que: } D_{xx} = \text{Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa el xx \% del material.}$$

**Coefficiente de Luminancia Bajo Iluminación Difusa.-** Cuociente entre la luminancia de una zona de marca vial observada bajo ángulo rasante e iluminación difusa en una dirección dada y la iluminación de esa zona.

**Coefficiente de Luminancia Retrorreflejada.-** Cuociente entre la luminancia L de la zona de marca vial en la dirección de observación y la iluminancia  $E_{\perp}$  de esa zona, medida perpendicularmente a la dirección de la luz incidente.

**Coefficiente de Uniformidad de un Suelo.-** Coeficiente que se emplea para saber el tipo de graduación de un suelo. Este coeficiente se determina como  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ , en que  $D_{xx}$  = Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa el xx % del material.

**Coefficiente Volumétrico de una Partícula.-** Cuociente entre el volumen real de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión de esa partícula.

**Coefficiente Volumétrico Medio.-** Cuociente entre la suma de los volúmenes reales de las partículas que constituyen un pétreo y la suma de los volúmenes de las respectivas esferas circunscritas.

**Cohesión (suelo).-** Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.

**Compacidad de un Suelo.-** Grado de compactación o densidad natural de un suelo no cohesivo, que depende del acomodo alcanzado por las partículas de éste.

**Compactación (suelo).-** Operación mecanizada para reducir el índice de huecos de un suelo y alcanzar con ello la densidad deseada.

**Compactación (hormigón).-** Operación mecanizada para dar al hormigón la homogeneidad y densidad convenientes.

**Compactación (asfalto).-** Operación mecanizada para lograr en una capa de mezcla asfáltica la densidad deseada.

**Comportamiento Estructural.-** Variación de la respuesta estructural de un pavimento con el tiempo.

**Compresibilidad de un Suelo.-** Deformación que experimenta un suelo producto de la relación variable que experimentan las fases de que está compuesto. Esta deformación no siempre es proporcional al esfuerzo aplicado, cambiando con el tiempo y con el medio.

**Compresión.-** Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

**Cono de Abrams.-** Molde tronco-cónico, recto, metálico, abierto por ambos extremos, utilizado en el método para determinar la docilidad (trabajabilidad) del hormigón. Ver 8.402.7.

**Cono de Arena.-** Ver 8.102.9.

**Consistencia de un suelo.-** Grado de adherencia entre las partículas del suelo y su resistencia a fuerzas que tienden a deformarlo o romperlo. Se describe por medio de términos como: blanda, media, firme, muy firme y dura.

**Consolidación.-** Reducción de los índices de vacíos de un suelo, a consecuencia de la expulsión del agua y aire intersticiales, mediante la aplicación de cargas durante un lapso determinado.

**Contenido Optimo de Asfalto.-** Porcentaje de asfalto de una mezcla, determinado de acuerdo a Método 8.302.47.

**Conteo.-** Registro compuesto de varias partidas, que al fin se suman o restan.

**Cordón (En juntas de pavimentos de hormigón).-** Elemento ligeramente compresible y normalmente de forma cilíndrica que se coloca al fondo de la caja y que sirve para evitar que el sello de la junta penetre hacia abajo.

**Cordón (suelos).-** Acopio de material granular, dispuesto longitudinalmente en la faja de un camino, de sección aproximadamente trapezoidal y cuyas dimensiones dependen del espesor compactado exigido a la capa a extender.

**Creep en Flexión.-** Para medir la rigidez de un ligante asfáltico a bajas temperaturas, se usa un ensaye de creep en flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga. Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensaye como el descrito, es una propiedad en creep.

**Cuarteo.-** Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensaye a realizar.

**Cuenca de Deflexiones.-** Conjunto de deflexiones, que reflejan la deformada de la superficie de un pavimento, registradas por todos los sensores de un deflectómetro de impacto (FWD) en el momento del ensaye.

**Curva de Saturación.-** Curva que relaciona la densidad seca de un suelo con la humedad de saturación de éste, para una densidad de partículas sólidas dada.

**Chancado .-** Partícula pétreo preparada por métodos mecanizados (chancadores), que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista. No se consideran como chancado aquellas partículas que aún teniendo dos o más caras fracturadas, presenten cantos redondeados.

**Deflectómetro de Impacto:** Equipo de ensaye no destructivo que simula mediante un impacto vertical la carga de un vehículo pesado sobre un pavimento, midiendo la deformación vertical elástica a diferentes distancias del punto de impacto.

**Deflectómetro Transitivo:** Equipo autopropulsado de ensaye no destructivo que utiliza una Viga Benkelman para medir la deflexión del pavimento ante la presencia de una carga móvil proporcionada por el mismo vehículo. Dispone de un mecanismo computacional que registra las deflexiones y mueve automáticamente la viga a su siguiente posición de lectura sin detenerse.

**Deflexión (auscultaciones).-** Deformación elástica (recuperable) que sufren los pavimentos al ser solicitados por las cargas que impone el tránsito. La deflexión que presenta un pavimento en un determinado momento es un buen indicador para estimar su vida útil remanente. Se mide tanto en centésimas de milímetro como en micrones ( $\mu\text{m}$ ).

**Deflexión (suelos).-** El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

**Deflexión Elástica.-** La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

**Deflexión Residual.-** La diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final, como consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

**Densidad (hormigones).-** Cuociente entre la masa del hormigón y su volumen, a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en  $\text{kg/m}^3$ .

**Densidad (pétreos).-** Cuociente entre la masa y el volumen de un material pétreo a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en  $\text{kg/m}^3$ .

**Densidad (suelos).-** Cuociente entre la masa de un suelo y su volumen a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en  $\text{kg/m}^3$ .

**Densidad Aparente (Hormigones).-** Densidad que se calcula considerando el volumen aparente de mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

**Densidad Aparente (Densidad a Granel o Densidad Bruta).-** Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

**Densidad Aparente Compactada.-** Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

**Densidad Aparente Suelta.-** Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

**Densidad Compactada Húmeda.-** Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa húmeda por su volumen.

**Densidad Compactada Seca.-** Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa seca por su volumen.

**Densidad de Partículas Sólidas.-** Cuociente entre la masa sólida de un suelo y el volumen sólido del mismo, siendo el volumen sólido la diferencia entre el volumen total y la suma de los volúmenes líquidos y gaseosos.

**Densidad Efectiva (Mezclas asfálticas).-** Cuociente entre la masa del agregado pétreo y su volumen, a una temperatura especificada. Se expresa en  $\text{kg/m}^3$ . Considera el volumen que excluye los poros permeables al asfalto.

**Densidad Marshall.-** Ver Método 8.302.47.

**Densidad Máxima (Suelos).-** Densidad de un suelo en el estado más denso que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

**Densidad Máxima Compactada Seca.-** Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima. Se determina mediante el Método 8.102.7.

**Densidad Mínima (Suelos).-** Densidad de un suelo en el estado más suelto que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

**Densidad Neta.-** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

**Densidad Real.-** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

**Densidad Real Saturada Superficialmente Seca.-** Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

**Densidad Real Seca.-** Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.

**Densidad Relativa.-** Grado de compacidad de un suelo con respecto a los estados más sueltos y más densos obtenidos mediante procedimientos de laboratorio normalizados. Ver Método 8.102.8.

**Descimbre.-** Desencofrado o desmolde. Operación destinada a retirar los moldes y demás piezas de un encofrado o de una cimbra (Encofrado: Molde formado con tableros de madera o chapas de metal, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después).

**Destilación.-** Operación destinada a separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras menos volátiles, basada en sus diferentes temperaturas de ebullición.

**Detector Hi-Lo.-** Regla rodante destinada a medir las irregularidades superficiales de un pavimento. Consta de una viga metálica indeformable que se traslada sobre tres ruedas; la rueda detectora dispuesta al centro de la viga se desplaza verticalmente por las irregularidades de la superficie, las que son amplificadas en una escala graduada en milímetros.

**Dimensión Mínima Promedio de un Pétreo (Tratamientos Superficiales).-** La dimensión mínima promedio (DMP) corresponde al promedio de la dimensión mínima de todas las partículas que componen el agregado. Se calcula conociendo el Tamaño Medio del agregado y su Índice de Lajas, mediante la ecuación indicada en el Método 8.302.50.

**Dispositivo de Transferencia de Carga.-** Elemento que se coloca en una junta de contracción de un pavimento de hormigón destinado a transmitir parte de la carga desde una losa a la adyacente.

**Distribución de Energía Espectral.-** Término general para la caracterización de la cantidad de radiación presente a cada longitud de onda. Puede ser expresada como potencia en watt, como irradiancia en  $\text{watt/m}^2$  o como energía radiante en joule. Las lámparas fluorescentes se definen frecuentemente por su distribución de energía espectral relativa que indica la cantidad de radiación a cada longitud de onda, como un porcentaje de la cantidad de radiación a la longitud de onda dominante. La Lámina 8.602.12A representa la curva de distribución de energía espectral relativa típica de una lámpara fluorescente UV-B.

**Docilidad o Trabajabilidad (hormigón fresco).-** Propiedad del hormigón fresco que se manifiesta por la facilidad para ser transportado, colocado y compactado, sin producir segregación. Ver 8.402.7.

**Dosímetro.-** Aparato o dispositivo que mide dosis de radiactividad, que se usa cuando se emplean métodos nucleares para determinar humedad y densidad.

**Dren.-** Excavación en forma de zanja, rellena con material filtrante, que recoge y evacua las aguas cualquiera sea su procedencia y que puedan afectar al pavimento y zonas contiguas.

**Ductilidad.-** Longitud a la cual puede estirarse sin romperse, una briqueta de forma y dimensiones normalizadas, a una temperatura y velocidad de estiramiento especificadas.

**Eje Equivalente (Factor de).-** Razón entre el número de ejes de cierto peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad y el número de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad.

**Elastómero.-** Material natural o artificial de gran elasticidad. Al estirarlo, no sobrepasa la tensión de fluencia; es decir, el proceso es reversible después de cesar el esfuerzo realizado y vuelve a su posición original. Se utiliza, entre otras cosas, para mejorar las características reológicas de los asfaltos.

**Embebido (Tratamientos Superficiales).-** Porcentaje del volumen de huecos en el agregado, que es ocupado por el ligante residual utilizado en el sello o tratamiento. El embebido es una propiedad que se define en el momento en que el agregado del tratamiento se ha asentado y ha alcanzado su posición definitiva.

**Empréstito.-** Volumen de material que se excava para suplir la deficiencia o insuficiencia del suministrado por los cortes.

**Emulsión Aniónica.-** Partículas de asfalto con carga eléctrica negativa dispersas en agua por medio de un emulsificante, que emigran hacia el ánodo al pasar una corriente eléctrica.

**Emulsión Asfáltica.-** Dispersión por medios mecánicos de asfalto en agua, a la cual se incorpora un emulsificador (producto necesario para la preparación de una emulsión y para mantener estable la dispersión).

**Emulsión Catiónica.-** Partículas de asfalto con carga eléctrica positiva dispersas en agua por medio de un emulsificante, que emigran hacia el cátodo al pasar una corriente eléctrica.

**Endurecimiento Físico (del ligante asfáltico).-** Rigidización tiempo – dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.

**Entumecimiento de un suelo.-** Aumento del volumen de los suelos con la humedad. También se le llama expansión y le ocurre a las arenas y, en modo muy especial, a las arcillas.

**Equivalente de Arena.-** Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

**Esbeltez.-** Cuociente entre la altura de ensaye de un testigo cilíndrico de hormigón endurecido y su diámetro.

**Escalonamiento de Juntas y Grietas (pavimento).-** Diferencia de nivel que se produce entre dos losas separadas por una junta o grieta. Se mide en mm y se determina a 300 y 750 mm del borde exterior del pavimento.

**Esfericidad de una Partícula (Suelos).-** Es la relación entre el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula y su largo.

**Esponjamiento (suelos).-** Aumento de volumen que experimenta un suelo al ser removido de su estado natural.

**Esponjamiento (arenas).-** Aumento aparente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

**Estabilidad (mezcla asfáltica).-** Carga máxima que soporta la probeta cuando se somete al ensaye Marshall.

**Estabilización de Suelos.-** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

**Estabilización Mecánica del Suelo.-** Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos.

**Estabilización Química del Suelo.-** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante la incorporación de un compuesto químico.

**Estabilizador de Suelos.-** Producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

**Estrato.-** Masa de suelo en forma de capa de espesor más o menos uniforme.

**Exudación (asfalto).-** Afloramiento superficial del exceso de ligante de un tratamiento o mezcla asfáltica.

**Exudación (hormigón).-** Fenómeno que se produce durante la colocación del hormigón por sedimentación de las partículas sólidas debido a la acción de la fuerza de gravedad y de la vibración, desplazando el agua hacia la superficie.

**Factor de Carga Equivalente.-** Es un número que convierte las solicitaciones de un eje o configuraciones de ejes, en la sollicitación equivalente de un eje normalizado (80 kN) (Ver Eje Equivalente).

**Factor de Tránsito (Tratamientos Superficiales).-** Factor que permite ajustar las dosis de asfalto de diseño en función del volumen de tránsito (TMDA) del camino a tratar. Ver Método 8.302.50.

**Filler.-** Polvo mineral fino que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Debe cumplir la siguiente granulometría:

Para tamices de 0,630, 0,315 y 0,080 el porcentaje que pasa en peso es de 100, 95 a 100 y 70 a 100 % respectivamente.

**Finisher.-** Pavimentadora.

**Finura Blaine.-** Finura del cemento determinada mediante el método del permeabilímetro de Blaine, con el cual se mide la superficie específica del cemento por la permeabilidad al aire de una capa de cemento de dimensiones y compacidad normalizadas. Cuanto más fino es el cemento, menos permeable es al paso del aire a través de los huecos que quedan entre los granos.

**Fisura (asfaltos).-** Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm.

**Fisura (hormigones).-** Quiebre o rotura que afecta a las losas del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm.

**Fisuras por Retracción o Tipo Malla (pavimento de hormigón).**- Falla superficial caracterizada por una serie de fisuras conectadas entre sí que crean una especie de malla. Se originan en un exceso de acabado final durante la construcción, mala construcción o por la sal que suele esparcirse en zonas de clima muy frío.

**Flexotracción.**- Ensaye a que se somete una probeta de hormigón endurecido, para determinar su resistencia a la tracción por flexión.

**Fluidez o Fluencia (mezcla asfáltica).**- Deformación correspondiente a la carga máxima de rotura de una probeta en el ensayo Marshall.

**Fraguado (Hormigón).**- Proceso exotérmico en el cual la pasta acuosa de un conglomerante adquiere trabazón, consistencia y endurecimiento, merced a las modificaciones físico-químicas que tienen lugar entre el conglomerado y el agua.

**Geotextil.**- Tela de fibras de poliéster, polipropileno o de una combinación de ambos, que cumple con una serie de requisitos y que se utiliza principalmente, según sus propiedades, para reforzar suelos de baja capacidad de soporte, como filtro para drenaje y en la construcción de muros de sostenimiento de tierras.

**Gestión Integral de Mantenimiento de Pavimentos (GIMP).**- Programa computacional para la gestión del mantenimiento de los pavimentos de la Dirección de Vialidad. Permite manejar la información para evaluar el estado actual, estimar la evolución del comportamiento futuro de los pavimentos y optimizar los recursos destinados al mantenimiento. El GIMPa es para pavimentos asfálticos y el GIMPh para los de hormigón.

**Grado de saturación.**- Se dice que un suelo está saturado cuando el agua ocupa la totalidad de sus huecos. El grado de saturación es el cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Se expresa en porcentaje.

**Granulometría de un Árido.**- Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo con el Método 8.202.3 Agregados Pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.

**Grieta (asfaltos).**- Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm.

**Grieta (hormigones).**- Quiebre o rotura que afecta al pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm.

**Grieta de Borde.**- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada y localizada en la inmediaciones del borde externo del pavimento. A veces presenta ramificaciones de grietas transversales hacia la berma.

**Grieta de Reflexión.**- Grieta de una capa asfáltica, colocada sobre un pavimento de hormigón o base rígida, que coincide con las juntas y grietas del hormigón o la base. Se presenta generalmente en repavimentaciones asfálticas sobre pavimentos de hormigón agrietados, a los cuales no se les aplicó previamente un sello de juntas y grietas.

**Grieta Longitudinal.**- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada, que a veces coincide con la junta longitudinal entre dos pistas pavimentadas.

**Grieta Piel de Cocodrilo.**- Ver Grietas por Fatigamiento.

**Grietas por Fatigamiento (pavimento asfáltico).**- Falla que se conoce también como "piel de cocodrilo". Serie de fisuras o grietas conectadas entre sí que forman trozos de ángulos agudos, normalmente de dimensiones inferiores a 300 mm.

**Hendimiento.**- Ensaye de tracción indirecta por el cual una probeta cilíndrica de hormigón se carga según la generatriz hasta provocar su ruptura.

**Hidroplaneo.**- Pérdida de fricción entre el neumático y el pavimento causada por una película de agua que se forma bajo el neumático, que evita que entre en contacto con el pavimento.

**Hormigón de Prueba.**- Hormigón preparado en laboratorio, destinado a verificar principalmente el cumplimiento de los requisitos de densidad y resistencia exigidos en la obra.

**Hormigón Endurecido.**- Para los efectos de muestreo debe considerarse como endurecido el hormigón que no cumple con la definición de hormigón fresco.

**Hormigón Fresco.-** Aquel que ha terminado su proceso de mezclado y aún no ha sido colocado, sin sobrepasar un tiempo de dos horas para los cementos de grado corriente y una hora para los cementos de alta resistencia. El tiempo señalado se mide desde el comienzo del amasado.

**Hormigón Pobre.-** Aquel cuyo contenido en cemento es bajo y su resistencia es, por tanto, reducida.

**Huecos.-** Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

**Humedad de Saturación.-** Porcentaje de humedad para el cual un suelo presenta todos sus vacíos llenos con agua y su grado de saturación es por tanto de 100%. La humedad de saturación varía de un suelo a otro dependiendo de su densidad de partículas sólidas, para un nivel de densificación dado.

**Humedad Óptima.-** Porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada presenta su máxima densidad (DMCS).

**Humedad.-** Cuociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

**Imprimación Reforzada.-** Imprimación convencional sobre una superficie de material granular, seguida de un riego de ligante y posterior aplicación de una capa de arena uniformemente distribuida .

**Imprimación.-** Operación consistente en extender asfalto en estado líquido sobre una capa de base granular para sellar e impermeabilizar su superficie, cohesionar las partículas superficiales de la base y facilitar la adherencia entre ésta y cualquier tratamiento o pavimento asfáltico que se vaya a realizar sobre su superficie.

**Índice de Consistencia (suelos).-** Es la diferencia entre el límite líquido y la humedad (natural) de un suelo, dividida por el Índice de Plasticidad de éste.

**Índice de Grupo.-** Índice utilizado en el Sistema AASHTO de clasificación de suelos para efectuar la evaluación en cada grupo. Su valor depende del porcentaje que pasa por 0,08 mm, del Límite Líquido y del Índice de Plasticidad del Suelo.

**Índice de Huecos.-** Relación entre el volumen de vacíos y el volumen sólido de un suelo. Se llama también relación de vacíos.

**Índice de Lajas.-** Porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerada.

**Índice de Penetración.-** Índice que se obtiene a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola de ligantes asfálticos modificados. Sirve como criterio de medida de la susceptibilidad de un asfalto modificado a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

**Índice de Pfeiffer.-** Ver Índice de Penetración.

**Índice de Plasticidad.-** Diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico de un suelo.

**Índice de Serviciabilidad.-** Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.

**Índice de Servicio Actual.-** Índice que estima la serviciabilidad en un determinado momento de la vida útil de un pavimento, a partir de medidas de su condición superficial.

**Índice Líquido (de Liquidez).-** Se define el Índice de Liquidez de un suelo como la razón entre el porcentaje de Humedad Natural menos Límite Plástico y el Índice de Plasticidad. Es decir, cuando la Humedad Natural es igual al Límite Líquido, el Índice de Liquidez es igual a 1.

**IRI.-** Índice de Rugosidad (Irregularidad Superficial) Internacional. Corresponde a la sumatoria de los movimientos verticales relativos entre la masa amortiguada y la no amortiguada (principalmente ruedas) de un vehículo tipo (modelo "cuarto de carro"), al circular a 80 km/h. Se determina como el efecto sobre dicho modelo, de las cotas de la superficie del camino (irregularidades), medidas mediante perfilometría en una línea paralela a su eje. Se expresa en m/km.

**Irradiancia Espectral.-** Distribución de irradiancia en función de la longitud de onda. Se expresa en  $W/m^2$  por intervalo de longitud onda. La irradiancia espectral de la luz solar suele ser definida a intervalos de 10 nm y la de las lámparas fluorescentes de UV, cada 1 ó 2 nm. La irradiancia espectral es la magnitud correcta para comparar fuentes con diferentes distribuciones de energía.

**Irradiancia.-** Radiación incidente sobre una superficie, expresada en  $W/m^2$ . La irradiancia es la radiación incidente total a todas las longitudes de onda. Las lámparas fluorescentes de cuarenta watt, de los tipos UVB y UV-A, generan irradiancias similares pero distribuidas a diferentes longitudes de onda, por lo que los efectos fotoquímicos causados por esas lámparas, son muy distintos para un tipo o el otro. La irradiancia no debe ser usada para comparar entre sí las fuentes de luz ultravioleta.

**Isótopo Radiactivo.-** Elemento al cual artificialmente se le traspasan características de radioactividad, limitadas a un cierto número de años.

**Junta de Construcción.-** Juntas en los pavimentos de hormigón de tipo transversal, cuando la faena de hormigonado se interrumpe por fuerza mayor; o de tipo longitudinal, que son aquellas que separan las distintas fajas del camino, son paralelas al eje y tienen un perfil machihembrado especial para la transmisión de cargas verticales de una faja a otra.

**Junta de Contracción.-** Corte realizado en una losa para controlar la retracción del hormigón hidráulico por cambios de temperatura u otras causas.

**Junta Esviada:** Junta transversal que no forma un ángulo recto con el eje del camino (pavimento).

**Junta Saltada (pavimento).-** Falla en los bordes de una junta que se caracteriza por una serie de fracturas o astillamientos del hormigón. Esta falla es conocida también como desconche.

**Laja.-** Partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máxima y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

**Lámpara Fluorescente UV.-** Lámpara de arco de mercurio a baja presión en la cual la radiación a 254 nm es transformada en otra de mayor longitud de onda mediante un recubrimiento de fósforo. La distribución de energía espectral de una lámpara fluorescente UV viene determinada por el espectro de emisión del fósforo y por la transmisión UV del tubo de vidrio.

**Lechada Asfáltica.-** Mezcla de emulsión asfáltica de quiebre lento, áridos finos, filler y agua en la cantidad necesaria para obtener una consistencia de pasta.

**Ligante Asfáltico.-** Cemento basado en asfalto producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.

**Límite de Contracción.-** Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no origina una disminución de volumen.

**Límite Líquido.-** Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

**Límite Plástico.-** Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

**Limo.-** Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0,005 mm y 0,08 mm.

**Líquido Newtoniano.-** Líquido en el que la tasa de corte es proporcional al esfuerzo cortante; la razón constante del esfuerzo de corte a la tasa de corte es la viscosidad del líquido; si la razón no es constante, el líquido no es Newtoniano.

**Macrocono de Arena (suelos).-** Es un aparato medidor de volumen, utilizado para el control de densidad de terreno, construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional. A diferencia de este último, el macrocono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. (Ver Lámina 8.102.9B)

**Macrotextura (Pavimentos).-** Textura correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  entre 0,5mm y 50mm, y amplitud A entre 0,1mm y 20 mm. Es función de las características del pavimento asfáltico (forma, tamaño y graduación del agregado) o del método de acabado del pavimento de hormigón.

**Maltenos.-** Componentes de los asfaltos, solubles en sulfuro de carbono, tetracloruro de carbono e hidrocarburos parafínicos livianos, que le confieren la propiedad de cohesividad o ligazón a los asfaltos.

**Matapolvo.-** Tratamiento que se le da a una capa de rodadura no ligada, con el propósito de estabilizarla y evitar que el tránsito de vehículos desprenda partículas finas.

**Material Inadecuado.-** Suelo no apto para servir los propósitos de un camino. En general, este término se utiliza para designar los suelos de fundación de terraplenes que no cumplen con los requisitos especificados.

**Megatextura (pavimentos):** Textura correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  entre 50mm y 500mm, del mismo orden de magnitud que la interfaz pavimento–neumático, y amplitud A entre 0,1mm y 50mm. En gran medida depende de defectos u ondulaciones del pavimento.

**Membrana de Curado (Hormigón).-** Compuesto líquido formador de membrana o lámina impermeable que se aplica sobre la superficie de un hormigón luego de su colocación, con el objetivo de evitar la pérdida de humedad. Ver 8.402.3.

**Mezcla Abierta.-** Aglomerado de un ligante y áridos de granulometría abierta o discontinua (aquella en la que aparecen las partículas, en su mayoría, distribuidas entre dos tamaños extremos, con una proporción relativamente baja en los demás tamaños), o sea aquellos que carecen o tienen muy poco polvo mineral, y en los cuales los vacíos en los áridos una vez compactados son relativamente altos.

**Mezcla Cerrada.-** Aglomerado de un ligante con áridos de granulometría cerrada, que son aquellos uniformemente graduados desde el tamaño máximo hasta el polvo mineral, con un bajo contenido de vacíos una vez compactados.

**Mezcla de Graduación Abierta.-** Mezcla asfáltica conformada por áridos cuya graduación presenta un bajo contenido de finos bajo el tamiz de 2,5 mm

**Mezcla Drenante.-** Capa asfáltica de rodadura dosificada de manera de lograr un gran número de huecos interconectados, que permitan absorber el agua de las lluvias y evacuarla hacia fuera de la calzada. Eliminan el agua superficial.

**Mezcla en Caliente.-** Mezcla asfáltica fabricada, extendida y compactada en caliente.

**Mezcla en Frío.-** Mezcla asfáltica que puede fabricarse, extenderse y compactarse a la temperatura ambiente.

**Mezcla en Sitio.-** Mezcla asfáltica confeccionada en el mismo lugar donde ha de emplearse.

**Microtextura (pavimentos)-** Textura microscópica o sub-visible, correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  menor que 0,5mm y amplitud A entre  $1\mu\text{m}$  y  $500\mu\text{m}$ . Es función de las características de la superficie de las partículas de árido que sobresalen del pavimento.

**Módulo de Finura.-** Uno de los índices que sirven para clasificar los agregados en función de su granulometría.

**Módulo de Reacción de un Suelo.-** Ver Módulo de Reacción.

**Módulo de Reacción.-** Cuociente entre la presión aplicada por medio de una placa rígida y la reacción o deflexión producida.

**Módulo Resiliente.-** Módulo elástico de un suelo determinado según especifica el Volumen N° 3 Instrucciones y Criterios de Diseño del Manual de Carreteras - Junio2002.

**Monografía.-** (en caminos). Descripción esquemática gráfica de una determinada característica de la obra, indicando la ubicación (kilometraje). Se utiliza para indicar avance físico de la obra, controles realizados, etc.

**Mortero.-** Mezcla de cemento, arena y agua en proporciones definidas. Puede llevar incorporado un determinado aditivo.

**Muestra:** Parte de un todo, elegida o extraída mediante un procedimiento establecido, y que se considera representativa de lo que se quiere conocer.

**Muestra de Laboratorio.-** Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayos de laboratorio requeridos.

**Muestra de Obra.** Muestra representativa de un pétreo que se encuentra en una obra, ya sea sobre un vehículo de transporte o almacenado.

**Muestra de Producción.** Muestra representativa de un pétreo removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación, y que se encuentra sobre cintas transportadoras o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

**Muestra de Terreno.** Muestra representativa de un pétreo tomada en la obra y reducida por cuarteo hasta alcanzar un tamaño mínimo equivalente al doble de la muestra de laboratorio.

**Muestra de Yacimiento.** Muestra representativa del pétreo en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

**Muestra Inalterada.** Muestra extraída sin alterar las condiciones naturales del suelo.

**Muestra Perturbada.** Muestra de suelo extraída o reconstituida artificialmente, en donde se modifica una o más propiedades respecto de su estado natural.

**Muestreo.** Obtención de un conjunto de muestras mediante procedimientos establecidos.

**Muestras Gemelas.** Conjunto de dos o más fracciones de muestras separadas por cuarteo según Método 8.202.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensaye en la dispersión de resultados.

**Napa Freática.** Capa de agua libre subterránea presente en un determinado suelo.

**Nido de Piedras.** Acumulación o concentración de agregado pétreo grueso (piedras) no rodeado por suelos finos, en zonas localizadas de extensión variable.

**Nivel de Servicio.** Es el grado de comodidad y seguridad que experimentan los usuarios al circular por un pavimento a la velocidad de diseño.

**Nomograma de Heukelom.** Véase: Tópico 8.302.18.

**Número Estructural.** Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Los coeficientes estructurales son correlacionables con los módulos de las capas estructurales.

**Obra Básica.** La parte de una carretera o camino comprendida entre la subrasante y el terreno natural, que se prepara como fundación del pavimento. Comprende los movimientos de tierras, las alcantarillas y las obras de drenaje, que evitan que las aguas afecten las obras de tierra.

**Open Graded.** Véase Mezcla de Graduación Abierta.

**Operaciones de Restauración.** Intervenciones destinadas a recuperar un pavimento deteriorado, en una parte o la totalidad del camino, a su condición inicial y, a veces, reforzarlo sin alterar la estructura subyacente, con el objetivo de evitar su destrucción, preservar la calidad de rodadura y asegurar la integridad estructural. Típicamente, en esta categoría se encuentran la restauración de pavimentos, los reemplazos de puentes y otras estructuras, etc.

**Partículas Desmenuzables.** Partículas contenidas en los pétreos, que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

**Pavimento.** Sistema estructural formado por una o más capas de materiales seleccionados, estabilizados, cementados y/o tratados, que se colocan sobre la subrasante, con el propósito de resistir las cargas impuestas por el tránsito de vehículos, en condiciones de comodidad y seguridad aceptables durante su periodo de diseño, y protegerlas de la acción de las condiciones ambientales.

**Pavimento de Adoquines o Adocretos.** Pavimento conformado por elementos naturales (adoquines de piedra) o artificiales (de mortero de cemento), dispuestos sobre una subbase granular y una cama de arena. Es un pavimento de tipo discontinuo o por elementos.

**Pavimento flexible.** Pavimento formado por una o varias capas asfálticas y/o materiales seleccionados o tratados, de módulos elásticos decrecientes con la profundidad. Normalmente, la capa de rodadura corresponde a una mezcla asfáltica o a una capa asfáltica de protección y las capas profundas, a materiales granulares del tipo base y subbase. En este caso, las cargas de rueda son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación.

**Pavimento Rígido.** Pavimento formado por una capa de rodadura de alta rigidez y por una base de apoyo de material seleccionado y/o tratado. Esta última se puede omitir si el material de fundación es apropiado. Normalmente, está constituido por losas de hormigón de cemento hidráulico, simple o reforzado, colocadas sobre una subbase de agregado granular. Debido a la rigidez del sistema, las cargas de rueda son soportadas principalmente por la resistencia a la flexión de las losas de hormigón, disipándose ampliamente su efecto en el suelo bajo la subrasante.

**Pavimento Semirrígido (o Semiflexible).** Pavimento que se caracteriza por emplear como capa de rodadura una mezcla asfáltica, y tener al menos una capa inferior de material de agregado granular aglomerado con cemento, como base tratada con cemento, base de grava cemento, hormigón compactado con rodillo u otros materiales similares.

**Pedraplén.** Relleno conformado por suelos gruesos con alto contenido de bolones y escaso contenido de finos y que se construye en forma similar a un terraplén.

**Péndulo de Fricción.** Equipo portátil de ensaye no destructivo que permite medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Para ello utiliza un brazo oscilante en cuyo extremo se ubica un patín de goma con amortiguador, que se deja oscilar libremente y que toma contacto con la superficie del pavimento mojado en una longitud normalizada. Se mide la pérdida de energía producto del roce, a través de la altura que alcanza después del contacto con el pavimento.

**Penetrómetro Dinámico de Cono Portátil (suelos).** Equipo manual que permite medir la penetración dinámica por golpes de una masa (martillo), que se deja caer libremente desde una altura constante. La energía recibida por el yunque es traspasada a la barra y al cono, que perforan las capas de la estructura del material; es, por lo tanto, una medida de la resistencia al corte del suelo [véase Lámina 8.102.12.A(1)].

**Peralte.** Inclinación dada al perfil transversal de un camino en los tramos con curvatura horizontal, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento.

**Pérdida de Áridos (pavimento asfáltico).** Falla que se caracteriza por un desgaste superficial provocado por la pérdida del ligante, seguida progresivamente, por el árido. Tiene su origen en una mala adherencia entre el ligante y el árido.

**Perfiles de Refracción Sísmica.** Determinación, mediante una serie de detectores o geófonos en línea, del tiempo de viaje de ondas compresionales originadas en una fuente explosiva. Permite determinar espesores de estratos y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en ellos. Este método se utiliza principalmente en la prospección de túneles y para determinar la excavabilidad de suelos y rocas.

**Perfilómetro.** Equipo para medir las irregularidades del perfil longitudinal de un pavimento con alto nivel de precisión (véase Método 8.502.6).

**Permeabilidad de un Suelo.** Propiedad de los suelos o capas granulares de un pavimento, de permitir el paso del agua a través de ellas. Se mide mediante ensayo y se expresa como coeficiente de permeabilidad. Es un indicador de la capacidad drenante del suelo o capa granular.

**Peso Específico.** Cuociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4 °C. Es adimensional.

**Pétreo Fino.** Material pétreo que pasa el tamiz de 5 mm (ASTM N°4) en el caso de hormigones y que pasa el tamiz de 2,5 mm (ASTM N°8) cuando se utiliza en asfaltos, y que es retenido en el tamiz de 0,08 mm (ASTM N°200).

**Pétreo Grueso.** Material pétreo retenido en el tamiz de 5 mm (ASTM N°4) en el caso de suelos y hormigones y en el tamiz de 2,5 mm (ASTM N°8) cuando se utiliza en asfaltos.

**Pétreo Rodado.** Partícula pétreo que no posee aristas.

**Pétreo Saturado Superficialmente Seco.** Árido cuyas partículas no tienen humedad en la superficie, pero sus poros accesibles están saturados de agua.

**Pétreo Seco.** Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , difieren en un porcentaje igual o inferior a 0,1% de la menor masa determinada.

**Pétreo.** Véase: Agregado Pétreo.

**Picnómetro.** Recipiente de vidrio calibrado, que se emplea para determinar la densidad de partículas sólidas de suelos conformados por partículas menores que 5 mm.

**Pitch Asfáltico.** Residuo que se obtiene de la destilación del petróleo y del cual se producen los diferentes tipos de asfalto.

**Placa de Carga.** Ensaye en que un suelo, de acuerdo con un procedimiento determinado, se somete a diversos estados de carga aplicados a través de placas rígidas, registrándose la deflexión producida en ellos.

**Planiformidad de una Partícula.** Relación entre el ancho y el espesor de una partícula de suelo.

**Polímero.** Sustancia de alto peso molecular, formada por la unión de moléculas pequeñas llamadas monómeros, formando macromoléculas de diversas formas: cadenas en escalera, cadenas termofijas (que no son afectadas por cambios de temperaturas), cadenas largas y moléculas sueltas, etc.

**Poros Accesible.** Poro permeable o abierto.

**Poros Inaccesible.** Poro impermeable o cerrado.

**Poros.-** Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.

**Porosidad.** Cuociente entre el volumen de vacíos y el volumen total de suelo. Se expresa en porcentaje.

**Pozo.** Excavación realizada para recibir y absorber agua drenada.

**Probeta de Hormigón.** Muestra de hormigón endurecido de dimensiones predeterminadas y conservada en condiciones preestablecidas, para posteriormente ser sometida a ensayos.

**Puente de Adherencia.** Adhesivo para unir hormigón o mortero fresco con hormigón endurecido, mortero endurecido, piedra, acero, fierro, fibrocemento o madera.

**Punto de Ablandamiento.** Es la menor temperatura, a la que una muestra suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas y colocada dentro de un baño de agua o glicerina, es forzada a fluir 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, debido a incrementos de la temperatura, a una velocidad prescrita.

**Punto de Fragilidad Fraass.** Temperatura a la que una película de material bituminoso muestra la primera fisura o rotura en su superficie, debido a la consistencia adquirida tras ser sometida, en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes.

**Punto de Inflamación.** Menor temperatura de calentamiento de un hidrocarburo, a la que la aplicación de una llama sobre la muestra de ensayo, provoca un destello de los vapores en la superficie del líquido.

**Punto de Inflamación (en vaso cerrado).** La temperatura más baja en °C y a una presión atmosférica de 101,3 kPa (kN/m<sup>2</sup>), a la que los vapores emitidos por el producto sometido a ensayo contenido en un vaso cerrado, dan lugar a una mezcla aire - vapor inflamable por la acción de una fuente calórica externa, en las condiciones del ensayo.

**Ranurado del Pavimento (Grooving).** Cortes sobre la superficie del pavimento, ejecutado mediante discos diamantados en una profundidad de 10 mm aproximadamente y un ancho de 2 mm, con un espaciamiento del orden de los 50 mm a 100 mm. El objetivo es mejorar la macrotextura superficial, facilitando el contacto neumático pavimento en situaciones de pavimento muy sellado que puedan provocar hidropelaje.

**Rapidez del Curado.** Tiempo que demora un asfalto líquido (asfalto cortado) en coagular, el que depende de la mayor o menor volatilidad del agente fluidificante del que está compuesto.

**Rasante.** Plano que define la superficie de una carretera.

**Razón Agua-Cemento.** Cuociente entre la cantidad de agua de amasado y la dosis de cemento, utilizados en la confección de un hormigón.

**Razón de Contraste.** Relación entre el factor de luminancia de una demarcación vial y el factor de luminancia del pavimento inmediatamente adyacente a la marca.

**Redondez de una Partícula.** Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el cuociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

**Reflectancia.** Propiedad de un material de reflejar.

**Reflexión.** Proceso mediante el cual la energía radiante es devuelta por un material u objeto.

**Refrentado (Capa de).** Capa de material, normalmente azufre, aplicado y moldeado para recubrir y nivelar una superficie de carga en una probeta de hormigón.

**Regiones del Espectro Ultravioleta.** El espectro ultravioleta se divide en tres regiones: UV-A: desde 315 nm hasta 400 nm. UV-B: desde 280 nm hasta 315 nm. UV-C: radiaciones con longitud de onda inferior a 280 nm.

**Rendimiento Funcional.** Variación del Nivel de Servicio con el tiempo.

**Recapado.** Técnica de restauración que consiste en sobreponer una o más capas sobre un pavimento existente, con el fin de aumentar la capacidad estructural de éste y mejorar su nivel de serviciabilidad, sin alterar significativamente la geometría del camino.

**Remuestreo.** Muestreo de algo ya muestreado, con el propósito de complementar, verificar o precisar valores. No se considera remuestreo un muestreo sobre obras que hayan sido corregidas. Tampoco es remuestreo la obtención de nuevas muestras por existir dudas fundadas acerca de los resultados de un muestreo (ej: equipo mal calibrado). En ambos casos se trata de un muestreo nuevo.

**Repavimentación.** Técnica de restauración que consiste en reemplazar la capa de rodadura de un pavimento existente por una nueva, con el objeto de mejorar el nivel de serviciabilidad de éste, sin que se vea afectada significativamente la capacidad estructural del camino.

**Reposición de Pavimentos.** Se refiere a cualquiera de las técnicas destinadas a reforzar estructuralmente un pavimento, de manera que esté en condiciones de soportar el tránsito previsto.

**Residuo Asfáltico.** Es el residuo obtenido de la destilación o evaporación de los asfaltos cortados y emulsiones.

**Resistencia al Deslizamiento (coeficiente de fricción).** La fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

**Resistencia al Sangrado.** Capacidad de una película de pintura de demarcación de impedir la difusión de materia colorante cuando es aplicada sobre un sustrato de tipo asfáltico.

**Resistencia Mecánica (hormigón).** Resistencia a la ruptura de probetas de hormigón endurecido.

**Restauración de Pavimentos.** Técnicas destinadas al mantenimiento de los pavimentos, es decir, a devolverles su condición original. Aun cuando no están orientadas específicamente a aumentar la capacidad estructural, muchas de ellas alargan el periodo de servicio del pavimento. Estas técnicas integran las denominadas operaciones de restauración.

**Retracción de un Suelo.** Disminución del volumen de un suelo húmedo o saturado, debido a su desecación.

**Retracción (hormigón).** Variación del volumen del hormigón por efecto del fraguado, por su desecación y su humedecimiento. Esta variación se produce en parte antes de fraguar y en parte en el hormigón fraguado y ya endurecido.

**Retrorreflectancia.** Propiedad de un material o elemento por la que, cuando es directamente irradiado, refleja los rayos preferentemente en una dirección similar y contraria a la del rayo incidente. Esta propiedad se mantiene para una amplia gama de direcciones de los rayos incidentes.

**Riego Asfáltico.** Aplicación delgada y uniforme de ligante asfáltico sobre bases granulares, capas asfálticas o pavimentos existentes.

**Riego de Liga.** Aplicación de un ligante asfáltico en estado líquido sobre la superficie de una capa de mezcla asfáltica, a fin de producir su adherencia con la capa inmediatamente superior.

**Riego Neblina.** Es un riego con emulsión asfáltica diluida, generalmente de quiebre lento, sobre un pavimento asfáltico antiguo, con el fin de sellar fisuras, impermeabilizar poros o para mejorar su apariencia. También puede aplicarse para sellar la superficie de una capa nueva o de un tratamiento superficial de reciente construcción, con el propósito de mejorar la retención de áridos y/o uniformar el color superficial.

**Roca Ígnea.** Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida (magma).

**Roca Metamórfica.** Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física.

**Roca Sedimentaria.** Rocas procedentes de productos de erosión, que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

**Rugosidad o Irregularidad Superficial (superficie de rodadura).** Alteraciones del perfil longitudinal del camino, correspondientes a una longitud de onda comprendida entre 0,5m y 50m.

**SCRIM (Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine).** Equipo de ensaye no destructivo y de alto rendimiento que mide la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Para ello utiliza una rueda esviada (20°) respecto del sentido de circulación del vehículo autopropulsado que lo constituye. Un estanque suministra automáticamente una película de agua para simular la condición más desfavorable. La fuerza lateral que la rueda esviada induce en su eje es proporcional al coeficiente de fricción del pavimento.

**Secado hasta Masa Constante.** Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior a 0,1% de la menor masa determinada.

**Sedimentación.** Formación de sedimentos a partir de partículas suspendidas en el agua.

**Segregación.** Separación de ciertas partículas de un material o mezcla, durante su transporte o colocación.

**Segregación (hormigón).** Separación de la fracción gruesa del mortero durante el transporte o colocación del hormigón fresco.

**Sello de agregados.** Tratamiento de mantenimiento, aplicado sobre un pavimento asfáltico, consistente en la aplicación de un riego de ligante asfáltico, seguido de una cobertura de agregado pétreo. También es posible aplicar sellos de agregados dobles.

**Serviciabilidad.** Capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utiliza.

**SHRP (Strategical Highway Research Program).** Programa de investigaciones sobre variados aspectos relacionados con las carreteras, desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica.

**Singularidades (pavimento).** Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, vados, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico, alteren el perfil del camino.

**Sistema de Clasificación AASHTO.** Uno de los sistemas de clasificación de suelos. El Sistema de Clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se utiliza fundamentalmente para el estudio y diseño estructural de pavimentos.

**Sistema de Clasificación USCS.** Uno de los sistemas de clasificación de suelos. El Sistema de Clasificación USCS (Sistema de Clasificación Unificado de Suelos), se aplica principalmente para proyectos de fundaciones de estructuras tales como puentes, muros de contención y otros.

**Sobretamaño.** Partículas de un suelo de mayor tamaño que el máximo especificado.

**Solubilidad.** Propiedad de una sustancia que le permite disolverse en un líquido.

**Sonda.**-Equipo para perforar y extraer muestras.

**Sondaje.** Operación de perforación del suelo para obtener muestras representativas de los distintos estratos. En los proyectos viales, este tipo de exploración se utiliza en el estudio de fundaciones de estructuras y en el estudio de estratos de compresibilidad importante, situados bajo el nivel de la napa freática. Los suelos finos exentos de grava pueden ser bien estudiados mediante sondajes.

**SRT, Valor de (de una marca vial).** Resistencia al deslizamiento que ofrece una superficie vial mojada, medida por la fricción a baja velocidad, mediante un patín de caucho montado sobre un péndulo SRT. Se abrevia como SRT.

**Subbase Granular.** Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

**Subrasante.** Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construyen el pavimento y las bermas.

**Suelo bien Graduado.** Suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continua y suave.

**Suelo Cemento.** Suelo estabilizado con cemento para mejorarle sus propiedades.

**Suelo de Fundación.** Véase: Subrasante.

**Suelo Uniforme.** Suelo en que la mayoría de las partículas tienen dimensiones similares y queda representado por una curva granulométrica empinada.

**Superficie Específica.** Cociente entre el área superficial o superficie externa de un agregado y su volumen; se expresa en  $m^{-1}$  (véase Método 8.202.13).

**Superpave.** Pavimento asfáltico diseñado según los procedimientos y ensayos originados en el programa de investigación SHRP.

**Surgencia de Finos (Bombeo de Finos).** Fenómeno que se manifiesta por la eyección, a través de las juntas, grietas y bordes del pavimento, de material fino húmedo de la base o subbase. Se origina en la succión que provoca el movimiento vertical debido a la carga y descarga de las losas móviles de un pavimento rígido. Como consecuencia de la surgencia, se produce una progresiva socavación bajo los bordes de las juntas, grietas y lados del pavimento, provocando su ruptura por falta de apoyo.

**Talud.** Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical.

**Tamaño Máximo Absoluto de un Árido.** Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida en el Método 8.202.3, que deja pasar 100% de la masa del árido.

**Tamaño Máximo Nominal de un Árido.** Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa 90% o más de la masa del árido. Cuando pasa menos de 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto.

**Tamaño Medio (de un agregado pétreo).** Corresponde a la abertura teórica de tamiz (mm) por donde pasa 50% del material. Se obtiene a partir de la granulometría por interpolación semilogarítmica.

**Tamizado.** Operación que consiste en separar por tamaño las partículas de un agregado, mediante tamices.

**Temperatura de Seguridad de Calentamiento.** La temperatura más alta a la cual un producto sellador puede ser calentado sin dejar de cumplir con los requisitos de flujo. Normalmente es proporcionada por el fabricante del producto sellador y se muestra en los envases.

**Tensión Capilar.** Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

**Tensión Superficial.** Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o  $erg/cm^2$ .

**Terraplén.** Obra construida, empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

**Testigo.** Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos de hormigón o de asfalto terminados o de elementos de hormigón estructural, cuyo propósito es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

**Testiguera.** Aparato para extraer testigos.

**Textura (pavimentos).** Variaciones de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana. Estas variaciones se producen en tres niveles distintos de escala, cada uno definido por la longitud de onda ( $\lambda$ ) y amplitud (A) entre puntos más sobresalientes. Los tres niveles de textura, establecidos en 1987 por la PIARC/AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera) son micro-, macro- y megatextura. En el caso de longitudes de onda superiores a las de megatextura, no se habla de textura, sino de irregularidad superficial o rugosidad.

**Textura (suelos).** Grado de finura y uniformidad del suelo detectado mediante el tacto, y se describe con términos tales como, harinoso, suave, arenoso, áspero, según la sensación percibida (determinación organoléptica).

**Textura (áridos).** Características secundarias de la superficie de la partícula, independiente de la forma y tamaño. Para su descripción se emplean los términos opaca, brillante, suave, áspera, estriada, etc.

**Tixotropía.** Ligaduras fisicoquímicas que se manifiestan en películas envolventes de agua y cationes absorbidos entre partículas arcillosas. Se pueden romper, momentáneamente, mediante amasado del suelo.

**Trabajabilidad.** Facilidad con que una muestra puede ser elaborada, distribuida, conformada y terminada.

**Trabazón.** Disposición o acomodo de las partículas gruesas de un agregado que da forma a una estructura estable.

**Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).** Valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular de todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

**Tratamiento Superficial Asfáltico.** Una o más aplicaciones alternadas de ligante asfáltico y agregado pétreo sobre una base granular. Un tratamiento superficial doble o triple consiste de dos o tres tratamientos aplicados consecutivamente, uno sobre otro.

**Triaxial.** Los ensayos triaxiales se usan para determinar la resistencia al corte y el ángulo de fricción de un suelo, mediante relaciones tensión-deformación de suelos bajo diferentes condiciones de drenaje.

**Turba.** Suelos sedimentarios, compuestos principalmente por materia orgánica, parcialmente descompuesta, que se ha acumulado bajo condiciones de humedad excesiva.

**Vacios en el Agregado Mineral.** Es el volumen de vacíos entre las partículas de agregado de una mezcla compactada; incluye los huecos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como porcentaje del volumen total.

**Velocidad de Quiebre.** Rapidez con que los agentes emulsificantes permiten que una emulsión se rompa, llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie de un agregado pétreo.

**Viga Benkelman.** Equipo de ensaye no destructivo que se posiciona sobre la superficie del pavimento y que cuenta con un brazo articulado, cuyo punto de contacto con el pavimento (palpador) detecta la deformación elástica vertical ante la aproximación de una rueda doble cargada con 40 kN.

**Viscosidad Cinemática.** Se define como la relación entre el coeficiente de viscosidad ( $M$ ) de un determinado viscosímetro, dividido por la densidad del líquido ( $\rho$ ) que se analiza. La unidad de viscosidad cinemática en el sistema CGS es  $\text{cm}^2/\text{s}$ , llamada Stoke (St); la unidad SI de viscosidad cinemática es  $\text{m}^2/\text{s}$  y es equivalente a 104 St. Comúnmente, se usa el centistoke ( $1 \text{ cSt} = 10^{-2} \text{ St}$ ).

**Viscosidad Saybolt Furol.** El tiempo de flujo, en segundos, de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayor que 1000 s (Saybolt Universal), tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra "Furol" es una contracción de fuel and road oils.

**Viscosidad Saybolt Universal.** El tiempo de flujo, en segundos, de 60 ml de mezcla, que fluye por un orificio Universal, calibrado bajo condiciones especificadas.

**Viscosidad.** Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y, comúnmente, se denomina viscosidad. En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el pascal segundo (Pa s); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise ( $\text{dinas}/\text{cm}^2$ ) y equivale a 0,1 Pa s. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo (1 m Pa s).

**Zapata de Traspaso de Carga.** En pavimentos de hormigón, dispositivo de transferencia de carga en las juntas de contracción.



## SECCION 8.005 SISTEMA DE UNIDADES

### 8.005.1 SIMBOLOS DE LAS UNIDADES

atm	: atmósfera	kPa	: kiloPascal
bar	: bar	kW	: kilowatt
BTU	: Unidad Térmica Británica (British Thermal Unit)	l	: litro
°C	: grado Celsius	lb	: libra
cal	: caloría	lm	: lumen
cd	: candela	lx	: lux
mcd	: milicandela	µm	: micrómetro
cm	: centímetro	m	: metro
cP	: centipoise	mg	: milígramo
cSt	: centistoke	Mg	: megagramo
D	: dina	min	: minuto
erg	: ergio	ml	: mililitro
°F	: grado Fahrenheit	mm	: milímetro
ft	: pie (feet)	MPa	: megapascal
g	: gramo	N	: newton
gal	: galón	P	: poise
h	: hora	Pa	: pascal
hp	: caballo de fuerza (horse power –British)	psi	: libra por pulgada cuadrada (pound per square inch)
in	: pulgada (inch)	s	: segundo
J	: joule	SFS	: Saybolt Furol Segundo
kg	: kilogramo	St	: stoke
kgf	: kilogramo fuerza	SUS	: Saybolt Universal Segundo
kN	: kiloNewton	W	: watt
		yd	: yarda

**8.005.2 CONVERSION DE UNIDADES**

<p><b>Longitud.</b>  <math>1 \text{ cm} = 10 \text{ mm} = 10^4 \mu\text{m} = 10^7 \text{ nm}</math>  <math>1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm}</math>  <math>1 \text{ km} = 1.000 \text{ m}</math>  <math>1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 30,48 \text{ cm}</math>  <math>1 \text{ yd} = 91,44 \text{ cm}</math>  <math>1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}</math>  <math>1 \text{ milla (n\acute{a}utica)} = 1.852 \text{ m}</math>  <math>1 \text{ cuadra (longitud)} = 125 \text{ m}</math></p>	<p><b>Area.</b>  <math>1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2</math>  <math>1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2</math>  <math>1 \text{ cuadra (\acute{a}rea)} = 15.625 \text{ m}^2</math>  <math>1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0,092903 \text{ m}^2</math>  <math>1 \text{ in}^2 = 6,4516 \text{ cm}^2</math></p>
<p><b>Volumen.</b>  <math>1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ l} = 10^6 \text{ cm}^3</math>  <math>1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}</math>  <math>1 \text{ in}^3 = 16,38706 \text{ cm}^3</math>  <math>1 \text{ ft}^3 = 0,0283168 \text{ m}^3</math>  <math>1 \text{ yd}^3 = 0,764555 \text{ m}^3</math>  <math>1 \text{ gal (USA)} = 4 \text{ qt} = 3,78541 \text{ l}</math></p>	<p><b>Densidad.</b>  <math>1 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ g/cm}^3</math>  <math>1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3</math>  <math>1 \text{ lb/ft}^3 = 16,0185 \text{ kg/m}^3</math>  <math>1 \text{ lb/in}^3 = 27,6799 \text{ g/cm}^3</math></p>
<p><b>Presi3n.</b>  <math>1 \text{ Pa} = 0,101972 \text{ kgf/cm}^2</math>  <math>1 \text{ MPa} = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2</math>  <math>1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2</math>  <math>1 \text{ kgf/cm}^2 = 14,2233 \text{ psi}</math>  <math>1 \text{ atm} = 1,03323 \text{ kgf/cm}^2 = 760 \text{ mm Hg a } 0 \text{ }^\circ\text{C}</math>  <math>1 \text{ lb/ft}^2 = 0,0004725 \text{ atm}</math>  <math>1 \text{ bar} = 1.000 \text{ mbar} = 0,1 \text{ Mpa}</math></p>	<p><b>Masa y Fuerza.</b>  <math>1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g} = 2,20462 \text{ lb}</math>  <math>1 \text{ t} = 1.000 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}</math>  <math>1 \text{ t corta} = 907,1185 \text{ kg}</math>  <math>1 \text{ t larga} = 1.016,05 \text{ kg}</math>  <math>1 \text{ kip} = 1.000 \text{ lb} = 453,592 \text{ kg}</math>  <math>1 \text{ N} = 0,101972 \text{ kgf} = 10^5 \text{ D}</math>  <math>1 \text{ kN} = 1.000 \text{ N}</math></p>
<p><b>Velocidad.</b>  <math>1 \text{ km/h} = 0,621371 \text{ milla/h} = 0,277778 \text{ m/s}</math>  <math>1 \text{ m/s} = 196,85 \text{ ft/min}</math></p>	<p><b>Temperatura.</b>  <math>\text{Temp } ^\circ\text{C} = 5/9 (\text{Temp } ^\circ\text{F} - 32)</math>  <math>\text{Temp } ^\circ\text{F} = 9/5 \text{ Temp } ^\circ\text{C} + 32</math></p>
<p><b>Potencia y Calor</b>  <math>1 \text{ hp (m\acute{e}trico)} = 0,7457 \text{ kW}</math>  <math>1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}</math>  <math>1 \text{ kW} = 3.412,14 \text{ Btu/h}</math>  <math>1 \text{ kW} = 10^{10} \text{ erg/s}</math>  <math>1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}</math>  <math>1 \text{ Btu/min} = 0,02357 \text{ hp}</math></p>	<p><b>Energía o Trabajo.</b>  <math>1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}</math>  <math>1 \text{ erg} = 1 \text{ D}\cdot\text{cm}</math>  <math>1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}</math>  <math>1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}</math>  <math>1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}</math>  <math>1 \text{ t. cm} = 72,33 \text{ ft. lb}</math>  <math>1 \text{ t. cm} = 98,07 \text{ j} = 98,07 \text{ N. m}</math>  <math>1 \text{ Btu} = 1.055 \text{ J} = 0,000293 \text{ kWh}</math>  <math>1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2</math></p>
<p><b>Torque.</b>  <math>1 \text{ kgf x m} = 7,23301 \text{ lbf x ft} = 9,80665 \text{ N x m}</math></p>	<p><b>Luminancia</b>  <math>1 \text{ cd/m}^2 = 1 \text{ lm/m}^2</math></p>
<p><b>Riego por Superficie.</b>  <math>1 \text{ l/m}^2 = 0,0245424 \text{ gal/ft}^2</math>  <math>1 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ g/cm}^2</math>  <math>1 \text{ kg/m}^2 = 0,2048 \text{ lb/ft}^2</math></p>	<p><b>Iluminancia.</b>  <math>1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2</math></p>
<p><b>Dosificaci3n de Cemento.</b>  <math>1 \text{ bolsa/m}^3 = 42,5 \text{ kg/m}^3 = 71,6360 \text{ lb/yd}^3</math></p>	<p><b>Viscosidad Cinemática.</b>  <math>1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}</math></p>
<p><b>Contenido de Humedad.</b>  <math>1 \text{ l/m}^3 = 0,201974 \text{ gal/yd}^3</math></p>	<p><b>Viscosidad Dinámica.</b>  <math>1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}</math></p>
<p><b>Irradiaci3n</b>  <math>1 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ joule/s}\cdot\text{m}^2</math></p>	<p><b>Flujo Volumétrico.</b>  <math>1 \text{ l/s} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}</math>  <math>1 \text{ ft}^3/\text{min} = 0,472 \text{ l/s}</math>  <math>1 \text{ m}^3/\text{h} = 16,6667 \text{ l/min}</math></p>
<p><b>Longitud de Onda.</b>  <math>1 \text{ n}\cdot\text{m} = 10^{-6} \text{ m}</math></p>	<p><b>Angulos.</b>  <math>1 \text{ rad} = 57,2958 \text{ }^\circ = 63,6620 \text{ grad}</math>  <math>1 \text{ grad} = 0,9 \text{ }^\circ</math></p>

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.100 SUELOS**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE**

**CAPITULO 8.100 - SUELOS**

**INTRODUCCION**

**SECCION 8.101 ESPECIFICACIONES PARA SUELOS.**

**8.101.1 SUELOS: ESPECIFICACIONES PARA SUBBASES, BASES Y CAPAS DE RODADURA**

**SECCION 8.102 METODOS PARA SUELOS**

- 8.102.1 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA**
- 8.102.2 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD**
- 8.102.3 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO**
- 8.102.4 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE PLASTICO**
- 8.102.5 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE DE CONTRACCION**
- 8.102.6 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA RELACION HUMEDAD/DENSIDAD - ENSAYE PROCTOR NORMAL**
- 8.102.7 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA RELACION HUMEDAD/DENSIDAD-ENSAYE PROCTOR MODIFICADO**
- 8.102.8 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA EN SUELOS NO COHESIVOS**
- 8.102.9 SUELOS: METODO DEL CONO DE ARENA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD EN TERRENO**
- 8.102.10 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS**
- 8.102.11 SUELOS: METODO DE ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)**
- 8.102.12 SUELOS: METODO DE ENSAYE CON PENETROMETRO DINAMICO DE CONO PORTATIL.**
- 8.102.13 SUELOS: METODO DE ENSAYE DE PLACA DE CARGA REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)**
- 8.102.14 SUELOS: METODO DE ENSAYE DE PLACA DE CARGA NO REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)**
- 8.102.15 SUELOS: METODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO**
- 8.102.16 SUELOS: METODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO**
- 8.102.17 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACION EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO**
- 8.102.18 SUELOS: METODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUIMICOS**



**MANUAL DE CARRETERAS**  
**VOLUMEN 8**  
**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**CAPITULO 8.100 - SUELOS**

**INTRODUCCION**

La Especificación y los 28 Métodos que contiene el Capítulo 8.100 Suelos, están destinados a señalar las exigencias a que deben ajustarse los suelos a incorporar en las obras de los caminos y a describir los procedimientos que se han definido para determinar sus propiedades. Al igual que otros Capítulos de este Manual, éste se presenta dividido en dos partes; la primera, Especificaciones, dedicada a establecer requisitos de los materiales, en tanto que en la segunda se describen los procedimientos a que deben ajustarse la ejecución de los ensayos propiamente tales.

En la parte Especificaciones, el Capítulo sólo incluye los requisitos exigidos a los materiales destinados a ser incorporados en las obras como subbases, bases granulares y capas granulares destinadas a servir de superficie de rodadura; se individualiza con el número 8.101.1.

La descripción de procedimientos para ensayar materiales, está compuesta por 18 Métodos, numerados correlativamente desde el 8.102.1 al 8.102.18. El listado se presenta siguiendo la numeración correlativa de los métodos, sin separaciones, sin embargo, ella guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Los 5 primeros métodos del listado (8.102.1 al 8.102.5) constituyen un grupo que se refiere fundamentalmente a los ensayos que se realizan con el propósito de establecer las propiedades físicas básicas de los suelos. Están, por lo tanto, los ensayos para determinar graduaciones de las partículas y los destinados a establecer los denominados límites de Atterberg (límites líquido y plástico e índice de plasticidad), que en conjunto, permiten clasificar los suelos. Completan este grupo, dos ensayos que permiten establecer condiciones básicas para el comportamiento de los suelos, como son el contenido de humedad y la contracción.

Un segundo grupo afín, incluye otros 5 métodos (8.102.6 al 8.102.10) que describen procedimientos para establecer, tanto en el laboratorio como en la obra, la densidad de los suelos y su relación con el contenido de humedad.

Un tercer grupo, está integrado por 4 métodos (8.102.11 al 8.102.14) que contemplan procedimientos destinados a establecer la capacidad de soporte de los suelos de la subrasante de un camino; se describen ensayos como el CBR, las penetraciones con un penetrómetro dinámico de cono y los ensayos con placa de carga.

La última agrupación incluye 4 procedimientos (8.102.15 al 8.110.18) para dosificar bases a estabilizar con productos aglomerantes, tales como el cemento hidráulico y los estabilizadores químicos.



**CAPITULO 8.100 - SUELOS**  
**SECCION 8.101 ESPECIFICACIONES PARA SUELOS.**

**8.101.1 SUELOS: ESPECIFICACIONES PARA SUBBASES, BASES Y CAPAS DE RODADURA**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Estas especificaciones definen las calidades y graduaciones de mezclas de arena - arcillas; gravas o escorias seleccionadas; arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias o cualquier combinación de estos materiales, para ser utilizados como subbases, bases y capas de rodadura. Estos requerimientos son aplicables únicamente a materiales que tienen densidades netas entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> y absorciones y graduaciones características.

**2.- Requerimientos Generales.**

**2.1** Los agregados gruesos, retenidos sobre tamiz 5 mm (N° 4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo -deshielo y humedad – sequedad, no deben ser usados.

**2.2** Los agregados finos, que pasan por tamiz 5 mm (N° 4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por tamiz 0,08 mm (N° 200).

Las fracciones que pasan por tamiz 0,08 mm (N° 200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por tamiz 0,5 mm (N° 40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por tamiz 0,5 mm estarán conformes a lo indicado en Tabla 8.101.1.A.

**2.3** Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la Tabla 8.101.1.B.

**TABLA 8.101.1.A**  
**LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG**

	<b>Límite Líquido</b>	<b>Indice de Plasticidad</b>
Subbase	Máx. 35	Máx. 8
Base Estabilizada	Máx. 25	Máx. 6 (Ver 4.1)
Capa de Rodadura		
- Regiones I a III	Máx. 35	5 – 10
- Regiones IV a VI	Máx. 35	4 - 9
- Regiones VII a X	Máx. 35	3 - 8
- Regiones XI a XII	Máx. 35	Máx. 7

**3.- Materiales para Subbase.**

**3.1** Los materiales para subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en 2 y en 3.2 y con la graduación TM-50a de la Tabla 8.101.1.B.

**3.2** En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Angeles, Método 8.202.11, de no más de 40%.

**Nota 1:** En zonas heladas se deben reconsiderar los límites de Atterberg y el material bajo 0,08 mm, previo estudio de las condiciones locales.

#### 4.- Materiales para Base Granular.

**4.1** Los materiales para base granular (estabilización hidráulica) cumplirán con los requerimientos indicados en 2 y 4.2. Las granulometrías deberán ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c o TM-25 de la Tabla 8.101.1.B; el porcentaje de chancado, determinado según Método 8.202.6, no deberá ser menor que 50%. Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm. y su Índice de Plasticidad máximo será de 4%, salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder 6%.

**4.2** En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR  $\geq 80\%$ ; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Angeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser CBR  $\geq 100\%$ . Ver Nota 1.

**Nota 2:** Cuando se emplea como subbase de pavimento de hormigón, el soporte deberá ser CBR  $\geq 50\%$ .

#### 5.- Materiales para Capa de Rodadura.

**5.1** Cuando se prevea que la capa de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos de 2 y 5.2, con un contenido mínimo de chancado de 50% y con una de las siguientes bandas granulométricas:

- **Zona Norte.** Desde la I a VI Regiones, ambas inclusive, se empleará la banda TM-40c.
- **Zona Sur.** Desde la VII a XII Regiones, ambas inclusive, se empleará la banda TM-40b.

**Nota 3:** De acuerdo a circunstancias locales, previo estudio, se podrán variar el fino bajo 0,08 mm y los límites de consistencia.

**5.2** En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR  $\geq 60\%$ . En zonas donde se permite efectuar el ensaye sin inmersión, este valor deberá ser de 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Angeles, de no más de 30%.

**6.- Base Granular Tratada con Cemento (GTC).** Los materiales para GTC deberán cumplir con los requerimientos de 4 y con una de las siguientes bandas granulométricas: TM-50c con tamaño máximo absoluto de 40 mm o TM-25. Los materiales podrán ser sólo seleccionados, siempre que cumplan con una resistencia característica a la compresión a 7 días de 2,5 MPa.

**7.- Base Tratada con Cemento (BTC).** Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en 6, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

**8.- Base Abierta Ligada (BAL).** Los materiales deberán cumplir con los requisitos del punto 2 y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Angeles, no mayor que 35%.

**9.- Contenido de Humedad.** Todos los materiales contendrán una humedad igual o ligeramente mayor que la óptima, necesaria para asegurar la densidad de diseño requerida.

**TABLA 8.101.1.B**  
**BANDAS GRANULOMETRICAS PARA SUBBASE, BASES Y CAPAS DE RODADURA**

Tamiz (mm)	TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
50	100	100	100				
40	-	70 – 100	-	100	100	100	
25	55 – 100	55 – 85	70 – 100	70 – 100	80 – 100	80 – 100	100
20	-	45 – 75	60 – 90	50 – 80	-	-	70 – 100
10	30 – 75	35 – 65	40 – 75	25 – 50	50 – 80	50 – 80	50 – 80
5	20 – 65	25 – 55	30 – 60	10 – 30	35 – 65	35 – 65	35 – 65
2,5	-	-	-	5 – 15	-	-	-
2	10 – 50	15 – 45	15 – 45	-	25 – 50	25 – 50	25 – 50
0,5	5 – 30	5 – 25	10 – 30	0 – 5	10 – 30	15 – 30	10 – 30
0,08	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 20	0 - 15



## SECCION 8.102 METODOS PARA SUELOS

### 8.102.1 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,08 mm, de una muestra de suelo.

**Nota 1:** Para determinar la distribución por tamaños de la fracción bajo tamiz 0,08 mm, se puede utilizar el procedimiento de sedimentar esa fracción en un líquido conocido, generalmente agua destilada, basándose en la Ley de Stokes, que establece que en un fluido de densidad y viscosidad determinada, esferas de un mismo material adquieren una velocidad de sedimentación proporcional al cuadrado de sus diámetros. Este procedimiento se conoce como método Boyoucos o del hidrómetro.

#### 2.- Referencias.

- Método 8.102.2 Suelos: método para determinar el contenido de humedad.
- Método 8.202.2 Agregados Pétreos: método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.202.3 Agregados Pétreos : método para tamizar y determinar la granulometría.

#### 3.- Aparatos.

**3.1 Balanza.** Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente donde se va a pesar; la resolución debe ser de 0,1 g para muestras menores que 1.000 g y de 1 g para muestras mayores que 1.000 g.

#### 3.2 Tamices.

a) Tejidos. De alambre, abertura cuadrada, tensados y que cumplan la norma NCh 1022. Los tamaños nominales de las aberturas pertenecen a la serie que se indica en Tabla 8.102.1.A.

**TABLA 8.102.1.A  
SERIE DE TAMICES ELEGIDOS**

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
80	( 3" )
63	( 2 ½" )
50	( 2" )
40	( 1 ½" )
25	( 1" )
20	( ¾" )
10	( ⅜" )
5	( N° 4 )
2	( N° 10 )
0,5	( N° 40 )
0,08	( N° 200 )

**Nota 2:** Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices pueden ser los correspondientes a ASTM.

b) Marcos. Metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las

mallas. Serán circulares, con diámetros de 200 mm y preferentemente de 300 mm para suelos gruesos.

- c) Depósito Receptor. Cada juego de tamices estará provisto de un depósito que ajuste perfectamente para la recepción del residuo más fino.
- d) Tapa. Cada juego de tamices estará provisto de una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material y marcada con tres diámetros que formen ángulos de 60° entre sí.

**3.3 Horno.** Tendrá circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**3.4 Mortero.** Con triturador de caucho para disgregar las partículas aglomeradas, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

**3.5 Herramientas y Accesorios.** Espátulas, brochas, recipientes para secado de muestras, recipientes para pesaje, etc.

**4.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.** Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de terreno en estado húmedo; luego reduzca por cuarteo, según Método 8.202.2, para obtener, cuando esté seca, una cantidad de material ligeramente superior a la estipulada en Tabla 8.102.1.B, de acuerdo al tamaño máximo absoluto. Luego suelte el fino adherido a la grava y arena, si es necesario con agua, y deshaga los terrones con los dedos. Seque la muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ; si detecta la presencia de trumao o materia orgánica, seque la muestra en el horno a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**TABLA 8.102.1.B**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA SEGUN**  
**TAMAÑO MAXIMO ABSOLUTO DEL SUELO**

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Cantidad mínima de muestra a extraer en terreno (kg)	Cantidad mínima de muestra para el ensaye (kg)
5	2	0,5
10	8	2
20	20	5
25	40	10
50	60	15
80	80	20
100	120	30
150	160	40

**5.- Procedimiento de Ensaye.**

**5.1** Pese toda la muestra con aproximación a 1 g y registre como A.

**5.2** Corte todo el material en el tamiz correspondiente al Tamaño Máximo Absoluto especificado; determine la masa de las fracciones sobre y bajo dicho tamaño con aproximación a 1 g y regístrelas como B y Z, respectivamente.

**Nota 3:** Para efectos de Clasificación de Suelos se debe considerar un corte simple del material en tamiz 80 mm a la curva granulométrica obtenida con el presente método

**5.3** Mida y registre el Tamaño Máximo Absoluto del material de la fracción B, determinada en 5.2.

**5.4** Corte todo el material registrado como Z en tamiz 5 mm y determine las masas, con aproximación a 1 g, de la fracción que pasó y de la que quedó retenida en dicho tamiz. Regístrelas como C y D respectivamente (Ver Nota 4).

**Nota 4:** Se debe tomar la precaución de proteger el tamiz 5 mm con uno mayor ( 20 mm ).

**5.5** Coloque el material retenido en 5 mm (D) en un recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Proceda a lavar el material siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a) Agite la muestra con el agua de modo de separar el material fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
- b) Vacíe inmediatamente el agua con el material fino (en suspensión o en disolución) en los tamices N° 4 (5 mm) y N° 200 (0,08 mm), dispuestos en forma decreciente.
- c) Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
- d) Reúna el material retenido en los tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
- e) Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- f) Pese y registre la masa lavada y seca como D'.

**5.6** Tamice el material registrado como D' a través de la serie de tamices 150, 100, 80, 50, 40, 25, 20, 10 y 5 mm. Efectúe este tamizado en dos etapas; un tamizado inicial, que podrá ser manual o mecánico, y un tamizado final que deberá ser manual.

- a) Tamizado Inicial.
  - Vacíe el material registrado como D' sobre el tamiz superior de la serie de tamices y cúbralo con la tapa y fondo.
  - Agite el conjunto de tamices durante un lapso mínimo de 5 min, aproximándose a la condición que se establece en 5.6 b).
- b) Tamizado Final.
  - Retire el primer tamiz provisto de depósito y tapa.
  - Sosténgalo con las manos, manteniéndolo ligeramente inclinado.
  - Agítelo con movimientos horizontales y verticales en forma combinada, girando el tamiz en forma intermitente. Esta operación durará al menos 1 min.
  - Pese y registre el material retenido sobre el tamiz.
  - Traslade el material contenido en el depósito al tamiz siguiente.
  - Repita las operaciones descritas en los pasos anteriores hasta completar todos los tamices.
  - Pese y registre la masa final del residuo contenido en el depósito.

**5.7** Del material bajo 5 mm tome por cuarteo una muestra de 500 a 1.000 g, y registre su masa como C'. Lave cuidadosamente con agua potable el material sobre tamiz 0,08 mm; vacíe a un bol el material retenido en tamiz 0,08 mm y seque hasta masa constante a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**5.8** Pese y registre el material lavado y seco como C'', aproximando a 0,1 g.

**5.9** Tamice el material preparado de acuerdo a 5.7, según procedimiento descrito en 5.6 a) y b), a través de la serie de tamices: 2, 0,5 y 0,08 mm.

**5.10** Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz 0,08 mm, recogido en el depósito. Registre como  $M_i$  con aproximación a 0,1 g.

**5.11** La suma de todas las masas no debe diferir en más de 3% para el material bajo 5 mm, ni en más de 0,5% para el material sobre 5 mm, respecto de las masas registradas como C'' y D', respectivamente. En caso contrario, repita el ensaye.

## 6.- Expresión de Resultados.

6.1 Calcule el porcentaje de sobretamaño, de acuerdo a la expresión:

$$ST = \frac{B}{A} \times 100 (\%)$$

donde:

B : Masa de material sobre el Tamaño Máximo Absoluto especificado.  
A : Masa de muestra total.

6.2 Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material sobre 5 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_i = \frac{M_i}{C + D} \times 100 (\%)$$

donde:

M<sub>i</sub> : Masa retenida en el tamiz i del material sobre 5 mm.  
C : Masa de la fracción bajo 5 mm.  
D : Masa de la fracción sobre 5 mm.

6.3 Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material bajo 5 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_i = \frac{C \times M_i}{C' (C + D)} \times 100 (\%)$$

donde:

C : Masa de la fracción bajo 5 mm.  
M<sub>i</sub> : Masa retenida en el tamiz i del material bajo 5 mm.  
C' : Masa de muestra reducida por cuarteo de la fracción bajo 5 mm.  
D : Masa de la fracción sobre 5 mm.

6.4 Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y expresando el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproxime los porcentajes que pasan al entero más cercano.

6.5 Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz, obtenidos de acuerdo a 6.4.

En la Lámina 8.102.1 A se incluye un formato tipo de ficha de ensaye para el registro de los resultados obtenidos.

Certificado de ensaye Nº: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Fecha de muestreo : \_\_\_\_\_ Fecha de ensaye : \_\_\_\_\_

Camino : \_\_\_\_\_

Faja : \_\_\_\_\_ Muestra : \_\_\_\_\_ Dm: \_\_\_\_\_

Horizonte : \_\_\_\_\_ Cota: \_\_\_\_\_

1. Cuarteo.

TMA especificado ( mm ) : \_\_\_\_\_ TMA muestra de ensaye (mm) : \_\_\_\_\_

Peso muestra total ( g ) ( A ) : \_\_\_\_\_

Peso sobretamaño ( g ) ( B ) : \_\_\_\_\_ Sobretamaño ( % ) ST = (B/A\*100): \_\_\_\_\_

2. Granulometria.

Peso muestra total seca a tamizar ( Z ) : \_\_\_\_\_ (g)

2.1 Fracción sobre malla 5 mm

Peso seco inicial retenido en 5 mm ( D ) : \_\_\_\_\_ (g)

Peso seco lavado retenido en 5 mm ( D' ) : \_\_\_\_\_ (g)

Abertura mm	Tamiz	Retenido		Pasa (%)
		Peso (g)	(%)	
150	(6")			
100	(4")			
80	(3")			
63	(2 1/2")			
50	(2")			
40	(1 1/2")			
25	(1")			
20	(3/4")			
12,5	(1/2")			
10	(3/8")			
5	(Nº4)			
Residuo				

% DE PERDIDA: = ((D' - SUMATORIA PESOS RETENIDOS + RESIDUO)/D)\*100 = \_\_\_\_\_

2.2 Fracción bajo malla 5 mm

Peso seco inicial pasa 5 mm ( C ) : \_\_\_\_\_ g

Peso seco cuarteo pasa 5 mm ( C' ) : \_\_\_\_\_ g

Peso seco cuarteo lavado 5 mm ( C" ) : \_\_\_\_\_ g

Abertura mm	Tamiz	Retenido		Pasa (%)
		Peso (g)	(%)	
2	(Nº 10)			
0,5	(Nº 40)			
0,08	(Nº 200)			
Residuo				

% DE PERDIDA = ((C" - SUMATORIA PESOS RETENIDOS + RESIDUO) / C")\*100 = \_\_\_\_\_

Responsable ensaye: \_\_\_\_\_

VºBº Jefe Laboratorio: \_\_\_\_\_



## 8.102.2 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD\*

1. - **Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar, en el laboratorio, el contenido de humedad de suelos cuyas partículas son menores que 50 mm.

\* El Método 8.102.2 es una adaptación de la norma NCh 1515 – 79.

### 2.- Aparatos.

2.1 **Balanza.** La balanza debe tener una resolución de 0,01 g para muestras menores que 100 g; de 0,1 g para muestras entre 100 y 1000 g y de 1 g para muestras mayores que 1000 g.

2.2 **Horno.** El horno debe estar provisto de circulación de aire y de temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se recomienda usarlo a  $60^{\circ}\text{C}$  para no falsear el porcentaje de humedad en suelos que contienen cantidades significativas de materias orgánicas. (Ver Nota 2).

2.3 **Recipientes.** De materiales semejantes a la porcelana, resistentes a la corrosión, que no alteren su masa ni se desintegren frente a sucesivos cambios de temperatura, ni absorban la humedad de las muestras; deben contar con tapas herméticas para evitar pérdidas. Se debe disponer de un recipiente para cada determinación de humedad.

2.4 **Herramientas y Accesorios.** Espátula, brochas, etc.

### 3.- Ensaye.

3.1 **Obtención de la Muestra.** Obtenga la muestra para ensaye de la muestra del suelo en estado húmedo, mediante los procedimientos y con el tamaño que indique el método de ensaye correspondiente. En general se recomienda emplear los tamaños de muestra que se indican en la tabla siguiente:

**TABLA 8.102.2.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ENSAYE**

Tamaño máximo absoluto de partículas (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de ensaye (g)
50	3.000
25	1.000
12,5	750
5	500
2	100
0,5	10

3.2 **Masa del Recipiente.** Determine y registre la masa de un recipiente limpio y seco con su tapa (mr).

3.3 **Masa Muestra Húmeda.** Coloque la muestra de ensaye en el recipiente, cerrando inmediatamente la tapa. Determine y registre la masa del recipiente más la muestra húmeda (mh).

3.4 **Secado.** Retire la tapa, coloque el recipiente con la muestra en horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y seque hasta masa constante.

3.5 **Masa Muestra Seca.** Saque el recipiente con la muestra del horno, coloque nuevamente la tapa y deje enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa del recipiente más la muestra seca (ms).

- Nota 1:** En la mayoría de los casos el secado de un día al otro (15 ó 16 h) es suficiente. En caso de dudas debe continuarse el secado hasta que dos pesadas sucesivas separadas por una hora de secado difieran en un porcentaje igual o menor que 0,1%. Muestras de arena pueden secarse en sólo algunas horas. Las muestras secas deben retirarse del horno antes de colocar otras muestras húmedas a fin de evitar posibles absorciones.
- Nota 2:** El secado en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  no entrega resultados fiables en suelos que contienen yeso u otros minerales que pierden fácilmente el agua de hidratación o en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En estos casos es recomendable el secado en horno, aproximadamente a  $60^\circ\text{C}$  o la desecación al vacío a una presión de aproximadamente 1.333 Pa (10 mm de Hg) y a una temperatura comprendida entre 23 y  $60^\circ\text{C}$ .
- Nota 3:** Se puede emplear un recipiente sin tapa siempre que se determine mh de tal manera que no se altere la humedad que se pretende determinar y que se determine ms inmediatamente después de retirar la muestra del horno o el secador.
- Nota 4:** Las muestras para determinar la humedad deben descartarse y no deben emplearse en ningún otro ensaye.

**4. Resultados.** Calcule la humedad como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1%.

$$w = 100 \times \frac{(mh - ms)}{(ms - mr)}$$

donde:

- w : Humedad (%)  
mh : Masa del recipiente más la muestra húmeda (g)  
ms : Masa del recipiente más la muestra seca (g)  
mr : Masa del recipiente (g)

### 8.102.3 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

\* El Método 8.102.3 es una adaptación de la Norma NCh 1517 / I - 79.

**2.- Referencias.** Método 8.102.2 Suelos: Método para determinar el contenido de humedad.

**3.- Terminología.**

**Límite Líquido.** Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

**4.- Aparatos.**

**4.1 Plato de Evaporación.** Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.

**4.2 Espátula.** Debe contar con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

**4.3 Aparato de Límite Líquido (Máquina Casagrande).** Taza de bronce con una masa de  $200 \pm 20$  g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75% y 90% (Lámina 8.102.3.A).

**4.4 Acanalador.** Combinación de acanalador y calibre, construido de acuerdo con el plano y dimensiones de la figura de la Lámina 8.102.3.B.

**4.5 Cápsulas para Secado.** Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

**4.6 Balanza.** La balanza debe tener una resolución de 0,01 g.

**4.7 Probeta Graduada.** La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

**4.8 Horno.** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Nota 1:** No se debe ocupar la superficie inferior del horno para el secado de muestras, pues ésta se encuentra siempre a una temperatura superior a la fijada.

**Nota 2:** Se recomienda para una mayor velocidad de secado el uso de hornos con convección forzada.

**5.- Ajuste y Control del Aparato de Límite Líquido.**

**5.1 Ajuste de la Altura de Caída de la Taza.** Gire la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm. De ser necesario, afloje los tornillos de fijación y mueva el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanileo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido, realice un nuevo ajuste.

## 5.2 Verificaciones Adicionales.

- a) No debe producirse juego lateral por desgaste entre la taza y el pasador que la sostiene.
- b) Los tornillos que conectan la taza con el apoyo deben estar apretados.
- c) El desgaste de la taza no debe sobrepasar la tolerancia de masa especificada en 4.3.
- d) El diámetro de la huella del punto de percusión en la base no debe exceder 15 mm. Cuando esto ocurra, pula la base, verificando que se mantiene la resiliencia especificada en 4.3.
- e) El desgaste del ranurador no debe sobrepasar las tolerancias dimensionales especificadas en la figura de la Lámina 8.102.3.B.

5.3 Antes de cada ensaye verifique que la base y la taza estén limpias y secas.

## 6.- Preparación de la Muestra de Ensaye.

6.1 Extraiga por cuarteo una muestra representativa de un tamaño tal que asegure una masa mínima de ensaye de 500 g de material bajo tamiz 0,5 mm (N° 40).

6.2 Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.

6.3 Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.

6.4 Distribuya de la siguiente forma la masa mínima de ensaye obtenida en 6.1:

- Límite Líquido                    160 g
- Límite Plástico                    40 g
- Límite de Contracción            100 g
- Ensayes de control                200 g

## 7.- Acondicionamiento de la Muestra.

7.1 Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

7.2 Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, para lo cual existe la siguiente clasificación:

- Suelos de alta plasticidad:  $\geq 24$  h
- Suelos de plasticidad media:  $\geq 12$  h
- Suelos de baja plasticidad:  $\geq 1$  h

## 8.- Procedimiento de Ensaye.

8.1 Coloque el aparato de límite líquido sobre una base firme.

8.2 Coloque en la taza una porción de la muestra acondicionada utilizando una espátula; la masa de suelo deberá colocarse centrándola en el punto de apoyo de la taza con la base.

8.3 Moldee la masa de suelo con la espátula hasta obtener la forma indicada en la figura de la Lámina 8.102.3.B, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla.

8.4 Enrase y nivele a 10 mm en el punto de máximo espesor.

8.5 Reincorpore el material excedente al plato de evaporación.

**8.6** Divida la pasta de suelo, pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. Pase el acanalador, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza; en ningún caso debe existir desprendimiento de la pasta del fondo de la taza; si ello ocurre, retire todo el material y reinicie el procedimiento. La formación de la ranura se debe lograr con el mínimo de pasadas, limpiando el acanalador después de cada pasada.

**8.7** Gire la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm.; si el cierre de la ranura es irregular, descarte el resultado. Registre el número de golpes obtenido (N).

**8.8** Retire aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco; colóquelo en una cápsula de secado y determine su humedad (w), de acuerdo con el Método 8.102.2.

**8.9** Transfiera el material que quedó en la taza al plato de evaporación; lave y seque la taza y el ranurador.

**8.10** Continúe batiendo con la espátula la pasta de suelo que quedó en el plato de evaporación para obtener un secado homogéneo. Repita las operaciones precedentes desde 8.3 en adelante, para dar origen a un nuevo punto.

**Nota 3:** El ensaye se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca; en ningún caso se debe rehumedecer la pasta de suelo.

**8.11** El ensaye requiere de al menos cinco puntos para el trazado de la curva de fluidez.

**Nota 4:** Se recomienda que los puntos seleccionados se encuentren en el rango de 10 a 45 golpes.

## **9.- Expresión de Resultados.**

**9.1** Calcule y registre la humedad de cada determinación (w), de acuerdo con el Método 8.102.2.

**9.2** Construya un gráfico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.

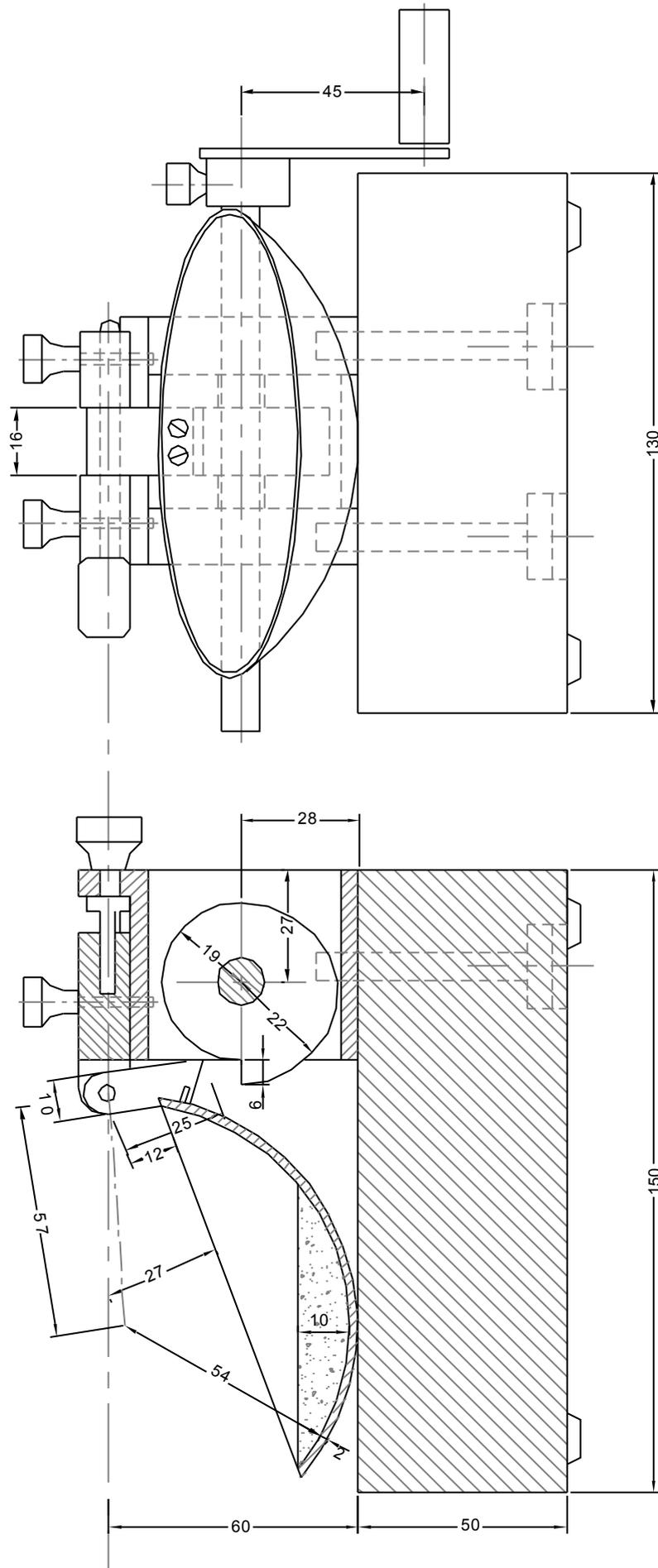
**9.3** Dibuje los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las cinco (o más) determinaciones efectuadas y construya una recta (curva de fluidez) que pase tan aproximadamente como sea posible por los puntos.

**9.4** Exprese el Límite Líquido (LL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.

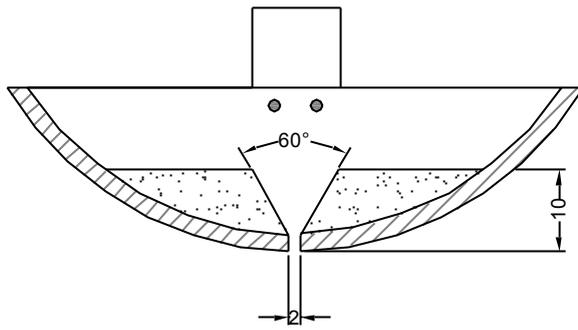
**Nota 5:** En el Método 8.102.4 se incluye un formato tipo de ficha de ensaye de Límites de Atterberg, en el cual se registrarán los resultados obtenidos en las determinaciones de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

**10. Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

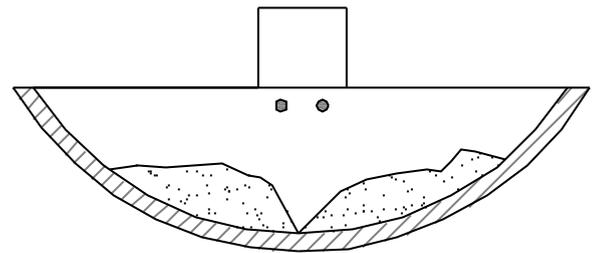
- a) Valor del Límite Líquido.
- b) Cualquier información específica relativa al ensaye o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.



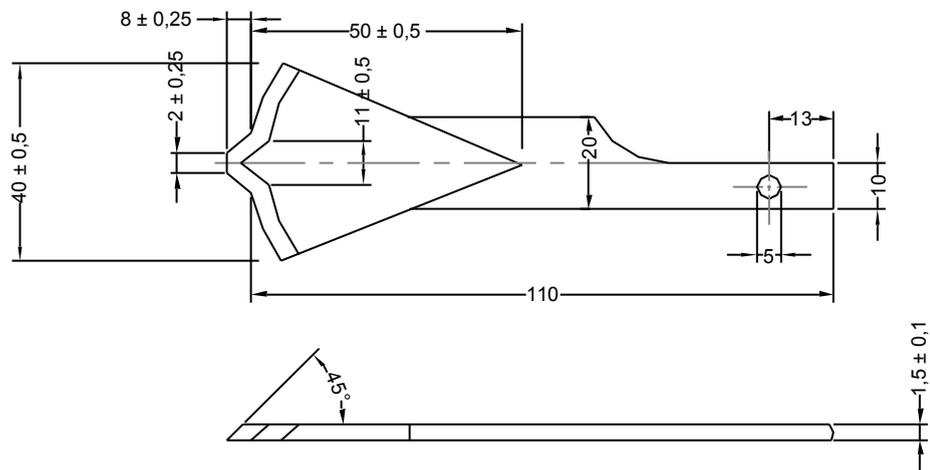
Nota : Diseño desarrollado en la Universidad de Harvard por Casagrande.



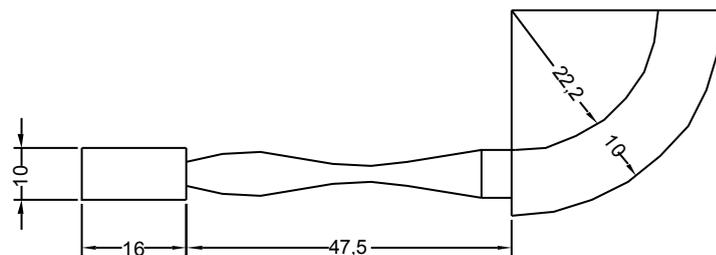
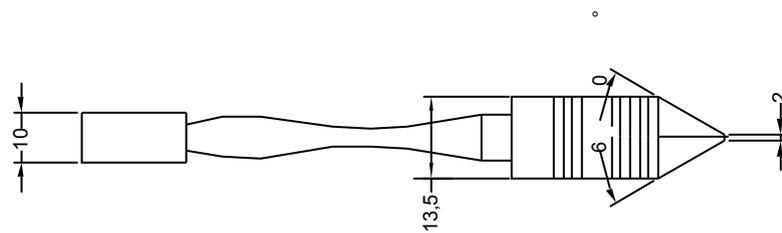
Ranura abierta



Ranura cerrada



a) Acanalador de Casagrande



b) Acanalador ASTM

Dimensiones en mm.



## 8.102.4 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE PLASTICO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar el Límite Plástico y el Índice de Plasticidad de los suelos.

### 2.- Referencias.

- Norma NCh 1517/ II-78 Determinación del Límite Plástico de los Suelos.
- Método 8.102.2 Suelos: método para determinar el contenido de humedad.

### 3.- Terminología.

**Límite Plástico.** Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamados ni reconstituidos.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Plato de Evaporación.** Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de 120 mm aproximadamente.

**4.2 Espátula.** Debe tener una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

**4.3 Superficie de Amasado.** Placa de vidrio esmerilado de 20 x 20 cm.

**4.4 Cápsulas para Secado.** Deben ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

**4.5 Balanza.** Debe tener una resolución de 0,01 g.

**4.6 Probeta Graduada.** Debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

**4.7 Patrón de Comparación.** Alambre o plástico de 3 mm de diámetro.

**4.8 Horno.** Debe tener circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura de  $60 \pm 5$  °C.

### 5.- Preparación de la Muestra de Ensaye.

**5.1** Extraiga, por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensaye de 500 g de material bajo tamiz 0,5 mm ( N° 40 ).

**5.2** Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.

**5.3** Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.

**5.4** La masa mínima de ensaye, obtenida según 5.1, debe distribuirse como sigue:

- |                         |       |
|-------------------------|-------|
| - Límite Líquido        | 160 g |
| - Límite Plástico       | 40 g  |
| - Límite de Contracción | 100 g |
| - Ensayes de Control    | 200 g |

## 6.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.

**6.1** Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

**6.2** Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, existiendo la siguiente clasificación:

- Suelos de alta plasticidad:  $\geq 24$  h
- Suelos de plasticidad media:  $\geq 12$  h
- Suelos de baja plasticidad:  $\geq 1$  h

**6.3** Una vez curado el material, reduzca la humedad si es necesario mediante revoltura con la espátula, hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

**7.1** Tome una porción de la muestra de ensaye acondicionada de aproximadamente  $1 \text{ cm}^3$ .

**7.2** Amase la muestra entre las manos; luego hágala rodar sobre la superficie de amasado, ejerciendo una leve presión con la palma de la mano hasta conformar un cilindro.

**7.3** Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm, doble, amase nuevamente y vuelva a conformar el cilindro.

**7.4** Repita la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3 mm, en trozos del orden de 0,5 a 1 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido.

**7.5** Reúna las fracciones del cilindro disgregado y colóquelas en una cápsula de secado, previamente tarada. Determine y registre la humedad (w) de acuerdo con el Método 8.102.2, aproximando a un decimal.

**7.6** Repita las etapas 7.1 a la 7.5 con dos porciones más de la muestra de ensaye.

## 8.- Expresión de resultados.

**8.1** Calcule el Límite Plástico (LP) como el promedio de las tres determinaciones efectuadas sobre la muestra de ensaye, aproximando a un decimal. Las determinaciones no deben diferir entre sí en más de dos puntos; cuando no se cumpla esta condición, repita todo el ensaye.

**8.2** Calcule el Índice de Plasticidad (IP) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

donde:

IP : Índice de Plasticidad del suelo (%).

LL: Límite Líquido del suelo (%).

LP: Límite Plástico del suelo (%).

**8.3** Cuando no pueda determinar uno de los dos límites (LL o LP), o la diferencia resulte negativa, informe el Índice de Plasticidad como NP (no plástico).

**8.4** Calcule el Índice Líquido (IL) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IL = \frac{w - LP}{IP}$$

donde:

- IL : Índice Líquido del suelo.
- w : Humedad natural del suelo (%).
- LP : Límite Plástico del suelo (%).
- IP : Índice de Plasticidad del suelo (%).

**8.5** Calcule el Índice de Consistencia (IC) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IC = \frac{LL - w}{IP}$$

donde:

- IC : Índice de Consistencia del suelo.
- LL : Límite Líquido del suelo (%).
- w : Humedad natural del suelo (%).
- IP : Índice de Plasticidad del suelo (%).

## 9.- Criterios de Aceptación de Resultados.

**9.1 Repetibilidad.** Dos resultados obtenidos por un mismo operador sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos y en días diferentes, se deben considerar dudosos si difieren en más de 10% del promedio de ambos.

**9.2 Reproducibilidad.** Dos resultados obtenidos por operadores diferentes, en laboratorios diferentes, se considerarán dudosos si difieren en más de 18% de su promedio.

**10.- Registro de Resultados.** En la Lámina 8.102.4.A se presenta un formato tipo de ficha de ensaye para registrar los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

**11.- Informe.** El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Fecha y lugar de muestreo.
- d) Fecha de ensaye.
- e) Valores del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.
- f) Cualquier información adicional respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- g) La referencia a este método.

CERTIFICADO DE ENSAYE N°

Identificación del contrato: .....

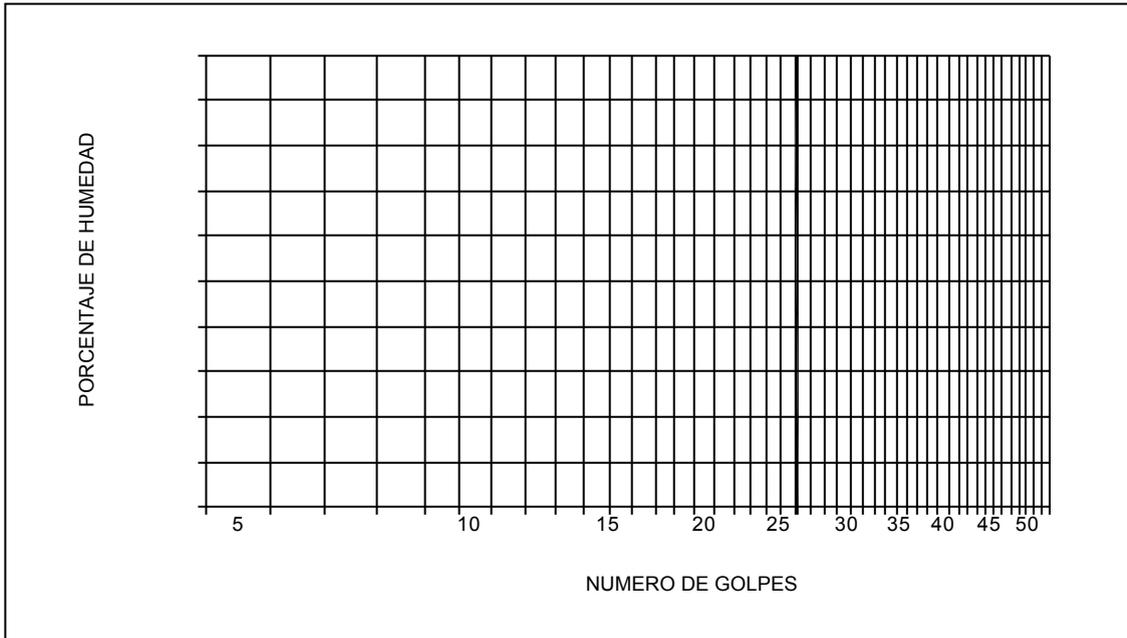
Identificación de la muestra: .....

Calicata / Sondaje: ..... Horizonte: ..... Fecha muestreo: .....

Llenar con bolígrafo o tinta

		LÍMITE PLÁSTICO			LÍMITE LÍQUIDO				
ENSAYE N°		1	2	3	1	2	3	4	5
CÁPSULA N°									
NÚMERO DE GOLPES									
1	PESO CÁPSULA + SUELO HUM. (g)								
2	PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)								
3	PESO DE LA CÁPSULA (g)								
4	PESO DEL AGUA (1-2) (g)								
5	PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)								
6	HUMEDAD (4/5)*100 (%)								
7	PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (%)								

CURVA DE FLUIDEZ



Límite Líquido (LL) %	Límite Plástico (LP) %	Índice de Plasticidad (IP = LL - LP) %
-----------------------	------------------------	--

Muestrado por : .....

Ensayador : .....

Fecha : .....

V° B° : .....

## 8.102.5 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL LIMITE DE CONTRACCION\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar el límite de contracción de los suelos.

\* El Método 8.102.5 es una adaptación de la norma NCh 1517/III-78

### 2.- Terminología.

**Límite de Contracción:** Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa disminución de volumen.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Plato de Evaporación.** Debe ser de porcelana, de aproximadamente 140 mm de diámetro.

**3.2 Espátula.** Espátula o cuchillo con hoja flexible, de aproximadamente 75 mm de largo por 20 mm de ancho.

**3.3 Molde.** Debe ser cilíndrico, metálico o de porcelana, con el fondo plano y de aproximadamente 45 mm de diámetro y 13 mm de altura.

**3.4 Regla de Enrase.** Debe ser de acero, de aproximadamente 150 mm de largo.

**3.5 Taza de Vidrio.** Debe tener aproximadamente 60 mm de diámetro y 30 mm de altura, con su borde superior pulido y esencialmente paralelo a la base.

**3.6 Placa de Vidrio.** Placa con tres puntas para sumergir la muestra en el mercurio (Ver Lámina 8.102.5. A).

**3.7 Probeta.** Debe tener una capacidad de 25 ml y graduada a 0,2 ml.

**3.8 Balanza.** Balanza con una resolución de 0,01 g.

**3.9 Mercurio.** El suficiente para llenar la taza de vidrio.

**3.10 Horno.** El horno debe ajustarse a los requerimientos señalados en el Método 8.102.2.

### 4.- Calibración del Molde.

**4.1** Pese y registre la masa del molde vacío ( $m_m$ ) aproximando a 0,01 g.

**4.2** Determine la capacidad del molde en  $\text{cm}^3$  (ml), llenándolo con mercurio, enrasando con una placa de vidrio y midiendo el volumen de mercurio que llena el molde por pesada y dividiendo por la densidad del mercurio (densidad del mercurio,  $\rho = 13,55 \text{ g/cm}^3$ ). Registre la capacidad como volumen de la pastilla de suelo húmedo ( $V_h$ ) aproximando a 0,01 ml.

**5.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** La muestra por ensayar debe tener un tamaño en masa de aproximadamente 30 g.

### 6.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.

**6.1** Si sólo requiere determinar el límite de contracción, tome la muestra de ensaye del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz de 0,5 mm.

**6.2** Coloque la muestra en el plato de evaporación y mezcle completamente con agua destilada en una cantidad suficiente para llenar completamente los huecos del suelo y dejarlo suficientemente pastoso para colocarlo en el molde sin inclusión de burbujas de aire.

**Nota 1:** La humedad necesaria para alcanzar la consistencia requerida en suelos desmenuzables es igual o ligeramente superior a  $w_L$  y en suelos plásticos puede exceder a  $w_L$  hasta en 10%.

**6.3** Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquidas y sólida se mezclen homogéneamente.

**Nota 2:** En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de baja plasticidad, este plazo puede ser mucho menor y en algunos casos puede eliminarse.

**6.4** Si requiere determinar, además, el límite líquido, tome la muestra de ensaye de la porción de suelo acondicionada según el Método 8.102.3.

## 7.- Ensaye.

**7.1** Recubra el interior del molde con una capa delgada de lubricante (por ejemplo, vaselina o aceite de silicón), para prevenir la adherencia del suelo al molde.

**7.2** Coloque una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de éste y extiéndalo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar.

**7.3** Agregue una porción similar a la primera y golpee el molde hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire atrapado suba a la superficie.

**7.4** Agregue material y compacte hasta que el molde esté completamente lleno y con exceso de suelo por sobre el borde.

**7.5** Enrase con la regla y limpie posibles restos de suelo adherido al exterior del molde.

**7.6** Inmediatamente después de enrasado, pese el molde con el suelo compactado; reste la masa del molde determinando la masa de suelo húmedo (mh). Registre aproximando a 0,01 g.

**7.7** Deje secar lentamente al aire hasta que la pastilla de suelo moldeado se desprege de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro.

**Nota 3:** Se recomienda efectuar el ensaye, hasta el inicio del secado, en cámara húmeda. Si no se cuenta con este dispositivo, tome todas las precauciones necesarias para reducir la evaporación.

**7.8** Seque en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante.

**Nota 4:** El secado en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , no entrega resultados fiables en suelos que contienen yeso u otros minerales que pierden fácilmente el agua de hidratación o en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En estos casos es recomendable el secado en horno a aproximadamente  $60^\circ\text{C}$ .

**7.9** Pese el molde con el suelo seco y reste la masa del molde, determinando la masa de suelo seco (ms). Registre aproximando a 0,01 g.

**7.10** Determine el volumen de la pastilla de suelo seco como se indica (ver Lámina 8.102.5.A):

a) Llene la taza con mercurio hasta que desborde; enrase presionando con la placa de vidrio y limpie los restos de mercurio adheridos al exterior de la taza.

- b) Coloque la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, coloque el trozo de suelo sobre la superficie del mercurio y sumérjalo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que ésta tope firmemente contra el borde de la taza (es esencial que no quede aire atrapado bajo el trozo de suelo ni bajo la placa de vidrio).
- c) Mida el volumen de mercurio desplazado por el trozo de suelo por pesada y divídalo por la densidad del mercurio ( $\rho = 13,55 \text{ g/cm}^3$ ); registre como volumen del trozo de suelo seco ( $V_s$ ), aproximando a  $0,01 \text{ cm}^3$ , ( $0,01 \text{ ml}$ ).

## 8.- Expresión de Resultados.

8.1 Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1%.

$$w = \frac{mh - ms}{ms} \times 100$$

donde :

- w : Humedad del suelo en el momento que fue moldeado (%).
- mh : Masa del suelo húmedo (g).
- ms : Masa del suelo seco (g).

8.2 Calcule el límite de contracción del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximado a 1%.

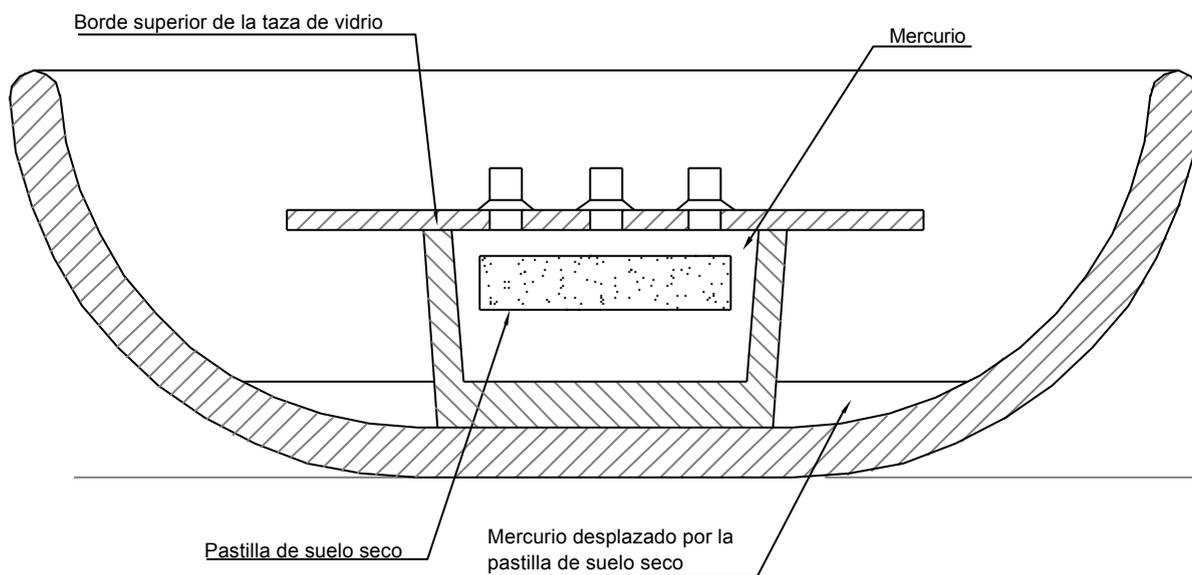
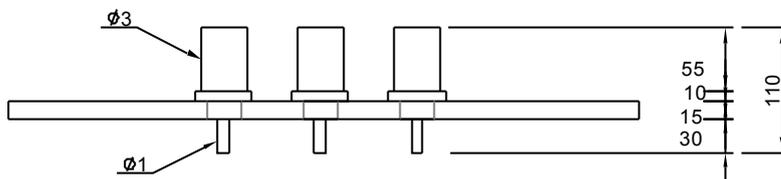
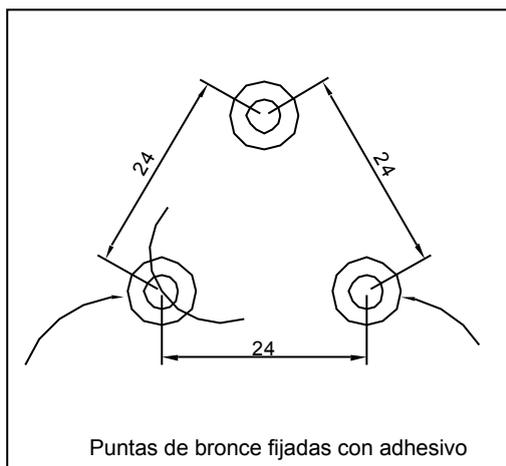
$$w_s = w - \left\{ \frac{(V_h - V_s) \times \rho_w}{ms} \right\} \times 100$$

donde:

- $W_s$  : Límite de contracción, %.
- W : Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, %.
- $V_h$  : Volumen de la pastilla de suelo húmedo,  $\text{cm}^3$  (ml).
- $V_s$  : Volumen de la pastilla de suelo seco,  $\text{cm}^3$  (ml).
- $\rho_w$  : Densidad del agua,  $\text{g/cm}^3$  (g/ml).
- ms : Masa del suelo seco, (g).

9. **Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) El valor del límite de contracción.
- b) Cualquier información específica relativa al ensaye o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.



Dimensiones en mm.

## 8.102.6 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA RELACION HUMEDAD/DENSIDAD - ENSAYE PROCTOR NORMAL\*

**1. Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 2,5 kg en caída libre desde una altura de 305 mm, con una energía específica de compactación de  $0,59 \text{ J/cm}^3$  ( $\approx 6 \text{ kgf cm/cm}^3$ ). En los suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de 12% de partículas menores que 0,080 mm ( $\approx$  ASTM N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método 8.102.8.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 5 mm.
- b) Método B - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 5 mm.
- c) Método C - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 20 mm.
- d) Método D - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 20 mm.

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones, según el material por ensayar. Si no se especifica, debe regirse por las indicaciones del método A.

\* El Método 8.102.6 es una adaptación de la norma NCh 1534/I-79.

## 2. Aparatos.

**2.1 Moldes Metálicos.** Deben ser de forma cilíndrica que pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe contar con un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican.

**2.2 Molde de 100 mm de Diámetro Nominal.** Debe tener una capacidad (V) de  $0,944 \pm 0,008 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $101,6 \pm 0,4 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Ver Lámina 8.102.6.A).

**2.3 Molde de 150 mm de Diámetro Nominal.** Debe tener con una capacidad (V) de  $2,124 \pm 0,021 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $152,4 \pm 0,7 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Ver Lámina 8.102.6.B).

**2.4 Pisón Metálico.** Debe tener una cara circular de  $50 \pm 0,2 \text{ mm}$  de diámetro y una masa de  $2500 \pm 10 \text{ g}$ . Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída a  $305 \pm 2 \text{ mm}$ . La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10 mm ubicadas a 20 mm de cada extremo, separadas en  $90^\circ$  entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

**Nota 1:** Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo, de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.

**2.5 Probetas Graduadas.** Una de  $500 \text{ cm}^3$  de capacidad, graduada a  $5 \text{ cm}^3$  y otra de  $250 \text{ cm}^3$  de capacidad, graduada a  $2,5 \text{ cm}^3$ .

**2.6 Balanzas.** Una de 10 kg de capacidad y resolución de 5 g y otra de 1 kg de capacidad y 0,1 g de resolución.

**2.7 Horno.** La temperatura debe poder regularse y contar con circulación de aire.

**2.8 Regla de Acero.** De 300 mm de largo y con un canto biselado.

**2.9 Tamices.** Tamices tejidos de alambre de abertura cuadrada que cumplan con el Método 8.202.3, de 50, 20 y 5 mm de abertura nominal.

**2.10 Herramientas.** Herramientas y paila para mezclar, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

### 3.- Calibración del Molde.

**3.1** Pese y registre la masa del molde vacío sin collar ( $m_m$ ), aproximando a 1 g.

**3.2** Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:

- a) Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
- b) Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal.
- c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- d) Determine la masa de agua que llena el molde ( $m_w$ ), aproximando a 1 g.
- e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad ( $\rho_w$ ) de acuerdo con la Tabla 8.102.6.A, interpolando si fuere necesario.

**TABLA 8.102.6.A  
DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**

TEMPERATURA °C	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> ) ó (g / l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

f) Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm<sup>3</sup> (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad:  $V = m_w / \rho_w$ .

**4.- Extracción de Muestras.** Obtenga las muestras de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o según lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

### 5.- Preparación de las Muestras.

**5.1** Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60° C hasta que se vuelva desmenuzable; disgregue entonces los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.

**5.2** Pase por el tamiz de 5 mm para los métodos A y B y por el tamiz de 20 mm para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

- Nota 2:** Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm y retenido en el tamiz de 5 mm) del material original, proceda como sigue:
- Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm y retenido en el tamiz de 20 mm.
  - Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 20 mm y queda retenido en 5 mm, tomado de la porción no utilizada del material original.

**6.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** Del material preparado según 5., obtenga un tamaño de muestra de ensaye de acuerdo con la Tabla 8.102.6.B.

**TABLA 8.102.6.B**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

<b>Dimensión del Molde (mm)</b>	<b>Método</b>	<b>Masa mínima de la muestra (g)</b>	<b>Masa aproximada de fracción de muestra para cada determinación (g)</b>
100	A y C	15.000	3.000
150	B y D	30.000	6.000

**7.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**7.1** Homogeneice el material de la muestra de ensaye y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la Tabla 8.102.6.B.

**7.2** Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y se distribuyan en las proximidades de la humedad óptima ( $w_o$ ).

**7.3** Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

**Nota 3:** En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h y en los de plasticidad nula, con 30 min.

**8. Procedimiento de Ensaye.**

**8.1** Coloque el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 kg o más).

**8.2** Llene el molde con una capa de las fracciones de muestra como sigue:

- a) Coloque una capa de material de aproximadamente un tercio de la altura del molde más el collar.
- b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (métodos B y D).
- c) Repita dos veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.

**8.3** Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Retape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.

**8.4** Pese el molde con el suelo compactado. Reste la masa del molde, determinando la masa de suelo compactado que llena el molde (m); registre aproximando a 1 g.

**8.5** Determine la densidad húmeda del suelo compactado ( $\rho_h$ ) dividiendo la masa del suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica de él.

$$\rho_h = \frac{m}{V}$$

Registre aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>

**8.6** Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones de humedad de acuerdo con el Método 8.102.2. Registre el promedio de ambas determinaciones como humedad del suelo compactado ( $w$ ).

**8.7** Repita las operaciones 8.2 a 8.6 con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensaye se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

## 9.- Expresión de Resultados.

**9.1 Densidad Seca.** Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_d = \frac{100 \rho_h}{w + 100}$$

donde :

- $\rho_d$  : Densidad seca del suelo compactado ( kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_h$  : Densidad húmeda del suelo compactado (kg/m<sup>3</sup>)
- $w$  : Humedad del suelo compactado (%).

## 9.2 Relación Humedad/Densidad.

a) Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisa.

**Nota 4:** Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método 8.102.10.

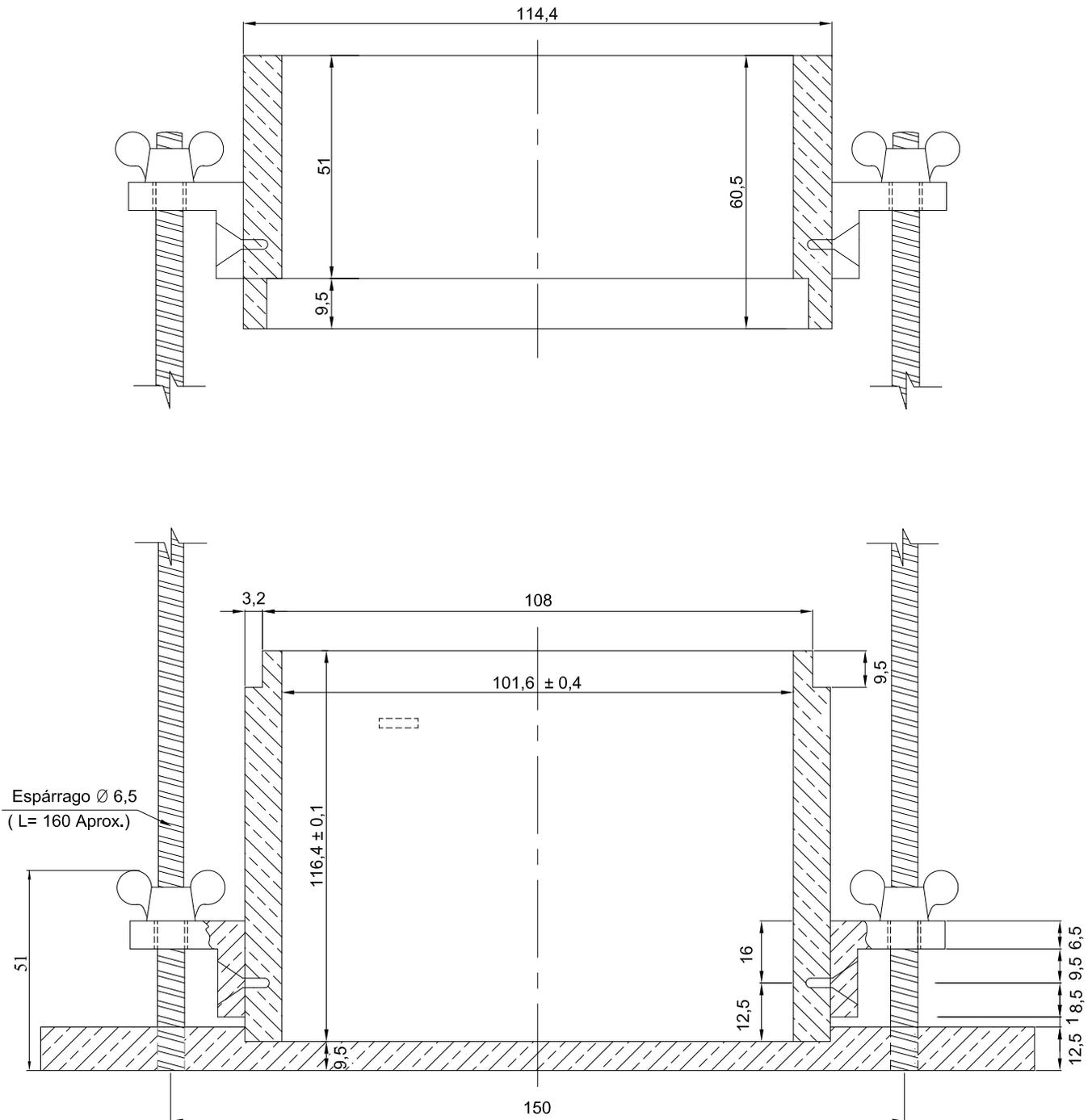
b) Registre los puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.

c) Exprese la humedad óptima ( $w_o$ ) como la correspondiente al punto máximo de la curva.

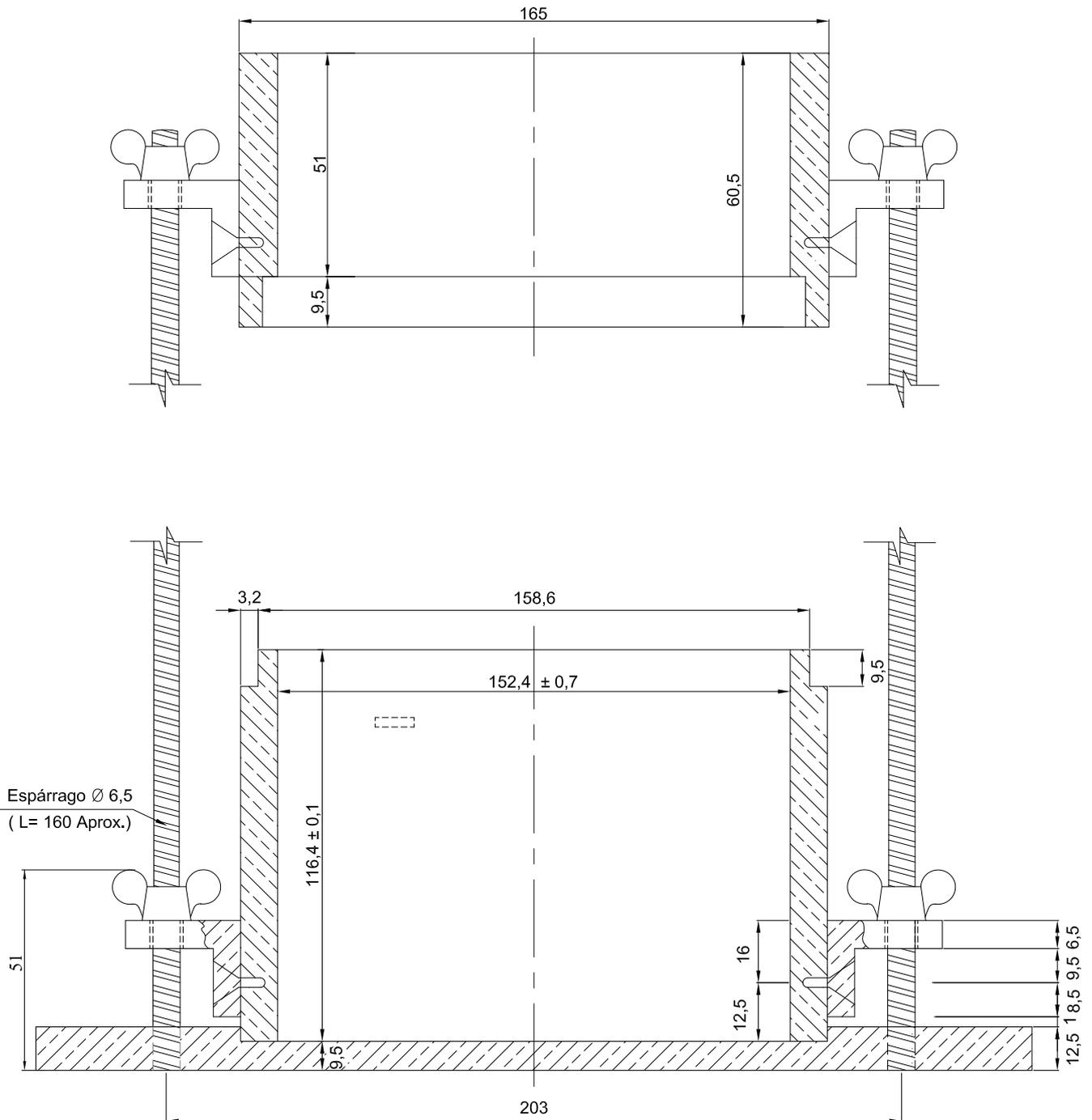
d) Exprese la densidad seca máxima ( $\rho_d$  máx) como la correspondiente a la humedad óptima.

## 10.- Informe. El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (normal A, B, C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.
- d) En los métodos C y D indique el porcentaje de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este Método.



Dimensiones en mm.



Dimensiones en mm.

## 8.102.7 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA RELACION HUMEDAD - DENSIDAD. ENSAYE PROCTOR MODIFICADO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 kg en caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de  $2,67 \text{ J/cm}^3$  ( $\approx 27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$ ). En suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de 12% de partículas menores que 0,08 mm ( $\approx$  ASTM N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método 8.102.8.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A - molde de 100 mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 5 mm.
- b) Método B - molde de 150 mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 5 mm.
- c) Método C - molde de 100 mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 20 mm.
- d) Método D – molde de 150 mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 20 mm.

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones para el material que debe ensayarse. Si no se especifica debe regirse por las indicaciones del método D.

\* El Método 8.102.7 es una adaptación de la norma NCh 1534 / II-79.

### 2.- Aparatos.

**2.1 Moldes Metálicos.** Deben tener forma cilíndrica; pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe tener un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican:

- a) Molde de 100 mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de  $0,944 \pm 0,008 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $101,6 \pm 0,4 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Lámina 8.102.6.A).
- b) Molde de 150 mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de  $2,124 \pm 0,021 \text{ l}$ , un diámetro interno de  $152,4 \pm 0,7 \text{ mm}$  y altura de  $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$  (Lámina 8.102.6.B).

**2.2 Pisón Metálico.** Debe tener una cara circular de  $50 \pm 0,2 \text{ mm}$  de diámetro y una masa de  $4.500 \pm 10 \text{ g}$ . Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída de  $460 \pm 2 \text{ mm}$ .

La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10 mm ubicadas a 20 mm de cada extremo, separadas en  $90^\circ$  entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

**Nota 1:** Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.

**2.3 Probetas Graduadas.** Una de  $500 \text{ cm}^3$  de capacidad, graduada a  $5 \text{ cm}^3$  y otra de  $250 \text{ cm}^3$  de capacidad, graduada a  $2,5 \text{ cm}^3$ .

**2.4 Balanzas.** Una de 10 kg de capacidad y una resolución de 5 g y otra de 1 kg de capacidad y una resolución de 0,1 g.

- 2.5 **Horno.** De temperatura regulable y circulación de aire.
- 2.6 **Regla de Acero.** De 300 mm de largo y con un canto biselado.
- 2.7 **Tamices.** Tejidos de alambre, de abertura cuadrada de 50, 20 y 5 mm de abertura nominal.
- 2.8 **Herramientas.** Herramientas y paila para mezclado, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

### 3.- Calibración del Molde.

- 3.1 Pese y registre la masa del molde vacío sin collar ( $m_m$ ), aproximando a 1 g.
- 3.2 Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:
  - a) Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
  - b) Coloque el molde sobre una base firme, plana y horizontal.
  - c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrasc con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua;
  - d) Determine la masa de agua que llena el molde ( $m_w$ ) aproximando a 1 g.
  - e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad ( $\rho_w$ ) de acuerdo con la Tabla 8.102.7.A, interpolando si fuere necesario.

**TABLA 8.102.7.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**

Temperatura °C	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) (g/ l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

- f) Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm<sup>3</sup> (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad:  $V = m_w/\rho_w$ .

4. **Extracción de Muestras.** Las muestras se deben obtener de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

### 5.- Preparación de Muestras.

5.1 Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C, hasta que se vuelva desmenuzable. Disgregue luego los terrones, evitando reducir el tamaño natural de las partículas.

5.2 Pase por el tamiz de 5 mm para los métodos A y B y por el tamiz de 20 mm para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

- Nota 2:** Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm y retenido en el tamiz de 5 mm) del material original, proceda como sigue:
- Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm y es retenido en el tamiz de 20 mm;
  - Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 20 mm y es retenido en 5 mm, tomada de la porción no utilizada del material original.

**6. Tamaño de la Muestra de Ensaye.** Del material preparado según 5, obtenga un tamaño de muestra de ensaye de acuerdo con la Tabla 8.102.7.B.

**TABLA 8.102.7.B  
TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

<b>Molde (mm)</b>	<b>Método</b>	<b>Masa mínima de la Muestra (g)</b>	<b>Masa aproximada de fracción de muestra para cada determinación (g)</b>
100	A y C	15.000	3.000
150	B y D	30.000	6.000

**7.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**7.1** Homogenice el material de la muestra de ensaye y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la Tabla 8.102.7.B.

**7.2** Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y que se distribuyan próximas a la humedad óptima ( $w_o$ ).

**7.3** Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

**Nota 3:** En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h y en los de plasticidad nula con 30 min.

**8.- Procedimiento de Ensaye.**

**8.1** Coloque el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 kg o más).

**8.2** Llene el molde con una de las fracciones de muestra como sigue:

- a) Coloque una capa de material de aproximadamente un quinto de la altura del molde más el collar.
- b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón, uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (métodos B y D).
- c) Repita cuatro veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.

**8.3** Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Tape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.

**8.4** Pese el molde con el suelo compactado. Reste la masa del molde para determinar la masa de suelo compactado que llena el molde ( $m$ ). Registre, aproximando a 1 g.

**8.5** Determine la densidad húmeda del suelo compactado ( $\rho_h$ ) dividiendo la masa de suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica del molde:

$$\rho_h = \frac{m}{V}$$

Registre aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>.

**8.6** Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones como humedad del suelo compactado (w).

**8.7** Repita las operaciones del (8.2) al (8.6) con cada una de las fracciones restantes, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensaye se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

## 9.- Expresión de Resultados.

**9.1 Densidad Seca.** Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_d = \frac{100\rho_h}{w + 100}$$

donde:

- $\rho_d$ : Densidad seca del suelo compactado (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_h$ : Densidad húmeda del suelo compactado (kg/m<sup>3</sup>)
- w : Humedad del suelo compactado (%).

## 9.2 Relación Humedad - Densidad.

a) Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

**Nota 4:** Se debe incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método 8.102.10.

b) Registre los puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.

c) Exprese la humedad óptima ( $w_o$ ) como la correspondiente al punto máximo de la curva.

d) Exprese la densidad seca máxima ( $\rho_{d \text{ máx.}}$ ) como la correspondiente a la humedad óptima.

**10. Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (modificado A, B C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.
- d) En métodos C y D, indicar el % de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este método.

## 8.102.8 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA EN SUELOS NO COHESIVOS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Se establece un procedimiento para determinar las densidades secas máxima y mínima de suelos no cohesivos, no cementados, de flujo libre, con un tamaño máximo nominal hasta 80 mm y que contiene hasta 12% en masa de partículas menores que 0,080 mm.

**Nota 1.** En general se recomienda aplicar este procedimiento a aquellos suelos que, cumpliendo con lo señalado anteriormente, tengan un IP igual o menor que 5, determinado según el Método 8.102.4.

El método es aplicable a suelos en que la compactación por impacto no produce una curva bien definida de relación humedad/densidad y la densidad máxima por impacto resulta generalmente menor que la obtenida por métodos vibratorios.

La densidad máxima se determina mediante compactación por vibrado y la densidad mínima mediante vaciado. También se indica el procedimiento para calcular la densidad relativa.

\*El Método 8.102.8 es una adaptación de la norma NCh 1726-80.

### 2.- Terminología.

**2.1 Densidad Relativa.** Grado de compacidad de un suelo con respecto a los estados más sueltos y más densos obtenidos mediante los procedimientos de laboratorio descritos en este Método.

**2.2 Densidad Máxima.** Densidad de un suelo en el estado más denso que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

**2.3 Densidad Mínima.** Densidad de un suelo en el estado más suelto que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

**2.4 Otros Términos.** Los que están definidos en NCh 179.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Aparato de Compactación.** Compuesto por los elementos que se enumeran a continuación (ver Lámina 8.102.8.A).

- a) Mesa vibradora, de acero, con cubierta vibradora de aproximadamente 750 x 750 mm, apoyada sobre amortiguadores y accionada por un vibrador electromagnético. El vibrador debe ser semisilencioso y con una masa igual o mayor que 45 kg, una frecuencia de 3.660 vibraciones/min y una amplitud de vibrado vertical entre 0,05 y 0,64 mm bajo una carga de 1.112 N.
- b) Moldes metálicos, con una capacidad nominal de 3 l y 14 l respectivamente. Deben cumplir con los requisitos dimensionales de la Lámina 8.102.8.B.
- c) Tubos guías, metálicos, ajustables a cada tipo de molde. Con un sistema de ajuste consistente en tres juegos de tornillos, dos de los cuales deben tener tuercas de fijación (ver Lámina 8.102.8.C).
- d) Placas base de acero de 12,5 mm de espesor, para cada tamaño de molde (ver Lámina 8.102.8.D).
- e) Sobrecargas, una para cada tamaño de molde. La masa total de la sobrecarga y su correspondiente placa base debe ser equivalente a 14 kPa para el molde en uso (ver Lámina 8.102.8.D).
- f) Una manilla para cada placa base (ver Lámina 8.102.8.C).
- g) Sujeción del calibre (Ver Lámina 8.102.8.C).
- h) Deformómetro para comparar calibres con indicador de dial, un recorrido de 50 mm y graduaciones de 0,01 mm.
- i) Barra de calibración, de metal de 75 x 305 x 3 mm.

- j) Aparatos de vaciado. Embudos de 12,5 mm y 25 mm de diámetro por 150 mm de largo, con descarga cilíndrica. La boca de carga debe tener los bordes con pestañas y contar con tarros de metal ajustables, de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura.
- k) Bandejas de mezclado, de dos tamaños; una de aproximadamente 900 mm x 600 mm x 10 mm y la otra de aproximadamente, 400 mm x 400 mm x 50 mm.
- l) Balanzas; una de 100 kg de capacidad con Resolución de 100 g y otra de 20 kg de capacidad con resolución de 1 g.
- m) Aparejo para izar; cuerda, cadena o cable y roldana, que soporten a lo menos, 1.400 N de carga.
- n) Herramientas y accesorios; pala, poruña, brocha, contador de tiempo o cronómetro que indique minutos y segundos, regla metálica de 400 mm , micrómetro de 0 a 25 mm con una precisión de 0,01 mm y pie de metro.

#### 4.- Calibración.

**4.1 Volumen del Molde.** Determine el volumen del molde mediante uno de los procedimientos siguientes:

- a) Por medición directa determine la altura y el diámetro interior promedio del molde, aproximando a 0,1 mm. Calcule y registre el volumen interno del molde aproximando a 1 cm<sup>3</sup> (1 ml).
- b) Por llenado con agua:
  - Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal
  - Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua;
  - Mida la temperatura del agua y determine su densidad  $\rho_w$  de acuerdo con la Tabla 8.102.8.A, interpolando si fuera necesario.

**TABLA 8.102.8.A  
DENSIDAD DEL AGUA SEGUN TEMPERATURA**

Temperatura (°C)	Densidad g/cm <sup>3</sup> (kg/l)
16	0,99909
18	0,99859
20	0,99820
23	0,99754
26	0,99678
29	0,99594

- Determine y registre la capacidad volumétrica ( $V_c$ ) aproximando a 1 cm<sup>3</sup> (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad  $V_c = m_w / \rho_w$ .

**4.2 Lectura Inicial del Calibre.** Determine y registre los espesores de la placa base y la barra de calibración, aproximando a 0,01 mm.

Coloque la barra de calibración sobre el molde, a lo largo del diámetro que pasa por el eje de los anclajes guía.

Inserte la sujeción del calibre en cada uno de los anclajes guías, con el vástago del calibre sobre un extremo de la barra de calibración y en el eje de los anclajes guía. Coloque siempre la sujeción del calibre en la misma posición en los anclajes guía, mediante marcas de referencia en las guías y en la sujeción.

Determine seis lecturas del calibre, tres en cada lado y calcule el promedio de las seis lecturas. Calcule y registre la lectura inicial del calibre ( $L_i$ ) sumando el espesor de la placa base más el promedio de las seis lecturas y restando el espesor de la barra de calibración, con aproximación a 0,01 mm.

**Nota 2:** La lectura inicial es constante para cada combinación de medida y placa base.

**4.3 Determinación de la Masa Inicial del Molde.** Pese y registre la masa del molde vacío aproximando a 100 g para el molde de 14 l y a 1 g para el molde de 3 l.

**5.- Muestreo.** Las muestras de suelo para los ensayos que se indican en este Método se deben obtener de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de prospecciones.

**6.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** Obtenga una muestra de ensaye representativa del tamaño indicado en Tabla 8.102.8.B, de acuerdo con el tamaño máximo nominal de partículas del suelo en estudio.

**TABLA 8.102.8.B  
TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

Tamaño máximo nominal de partículas, $D_n$ (mm)	Tamaño mínimo de la Muestra de ensaye (kg)
80	45
40	10
20	10
10	10
5	10

**7.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.** Seque la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y pase por un tamiz de abertura suficientemente pequeña para romper todas las partículas de suelo débilmente cementadas.

**8.- Determinación de la Densidad Mínima (Máximo Índice de Huecos).**

**8.1** Seleccione el aparato de llenado y el molde según Tabla 8.102.8.C, en función del tamaño máximo nominal de partículas.

**TABLA 8.102.8.C  
APARATO DE LLENADO Y MOLDE**

Tamaño máximo nominal de partículas (mm)	Aparato de llenado para densidad mínima	Capacidad nominal de molde (l)
80	Pala o poruña	14,2
40	Poruña	2,8
20	Poruña	2,8
10	Embudo de 25 mm	2,8
5	Embudo de 12,5 mm	2,8

**8.2** Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal. Llene con material de la muestra acondicionada y enrrese mediante uno de los procedimientos siguientes, según el tamaño máximo nominal de partículas del suelo en estudio y evitando golpear y/o vibrar el molde.

- a) Tamaño máximo nominal igual o menor que 10 mm:
- Coloque el material en el molde tan suelto como sea posible, vaciándolo en un flujo constante y ajustando la altura de la descarga de modo que la caída libre del suelo sea de 25 mm. Simultáneamente, mueva el embudo en espiral desde la pared del molde hacia el centro a fin

de formar una capa de espesor uniforme, sin segregación. Llene hasta aproximadamente 25 mm por sobre el borde del molde.

- Enrase el material excedente mediante una pasada continua con la regla de acero, procurando no compactar el material. Si no se remueve todo el material excedente, efectúe una pasada adicional.

**b) Tamaño máximo nominal mayor que 10 m.**

- Coloque el material en el molde de modo que se deslice, en lugar de caer, sobre el fondo del molde o el material previamente colocado. Al efecto, coloque el aparato de llenado tan cerca como sea posible y si es necesario, sujete con la mano las partículas mayores para impedir que rueden afuera. Llene hasta aproximadamente 25 mm por sobre el borde del molde.
- Enrase el material excedente mediante una pasada continua con la regla de acero (y ayudándose con los dedos, cuando sea necesario) de modo que cualquiera leve proyección de las partículas mayores por sobre el borde del molde, compense aproximadamente los huecos superficiales mayores.

**8.3** Pese el molde con el suelo, determine y registre la masa seca del suelo que llena el molde ( $m_s$ ) aproximando a 100 g para el molde de 14,2 l y a 1 g para el molde de 2,8 l.

**8.4** Repita los pasos anteriores hasta obtener tres o más resultados consistentes. Registre el valor más bajo conseguido.

**9.- Determinación de la Densidad Máxima ( Mínimo Índice de Huecos).** Determine mediante uno de los procedimientos siguientes:

**9.1 Método Seco.**

- a) Mezcle el material de la muestra acondicionada hasta obtener una distribución homogénea de las partículas con la menor segregación posible.
- b) Coloque el tubo guía sobre el borde del molde y ajuste el sistema de fijación de modo que la pared interna del tubo quede alineada con la pared interna del molde.
- c) Ajuste las dos tuercas de fijación en sus respectivos tornillos. Suelte el tornillo restante y retire el tubo guía.
- d) Llene el molde por el procedimiento establecido en 8.2 a) o b), según corresponda:

**Nota 3:** Normalmente se emplea el mismo molde lleno con suelo con el que se determinó la densidad mínima.

- e) Fije el tubo guía al molde y coloque la placa base sobre la superficie del suelo. Coloque la sobrecarga encima de la placa base (empleando el aparejo de izar en el caso del molde de 14,2 l).
- f) Coloque el control del vibrador a la amplitud máxima y vibre el molde cargado durante un período de 8 min. Retire la sobrecarga y el tubo guía:

**Nota 4:** En algunos casos es posible obtener una densidad mayor aplicando amplitudes de vibración menores que la máxima.

- g) Obtenga y registre dos lecturas del calibre, una en cada lado de la placa base. Determine y registre el promedio de ambas lecturas ( $L_f$ ) aproximando a 0,01 mm;
- h) Pese el molde con el suelo. Determine y registre la masa seca del suelo que llena el molde ( $m_s$ ) aproximando a 100 g para el molde de 14,2 l y a 1 g para el molde de 2,8 l

**Nota 5:** Si se emplea el mismo molde lleno con suelo con el que se determinó la densidad mínima, aplicar la misma ( $m_s$ ) de 8.3, a menos que se pierda una cantidad apreciable de finos durante la vibración.

- i) Repita los pasos anteriores hasta obtener tres o más resultados consistentes. Registre el valor más alto conseguido.

## 9.2 Método Húmedo.

- a) El método húmedo puede efectuarse con el material de la muestra acondicionada agregando suficiente agua o, si se prefiere, con el suelo húmedo del terreno. Si se agrega agua al suelo seco, deje transcurrir un periodo mínimo de remojo de 30 min.
- b) Llene el molde con suelo húmedo por medio de una poruña o pala. Agregue la cantidad de agua suficiente para que una pequeña cantidad de agua libre se acumule sobre la superficie del suelo durante el llenado.

**Nota 6:** La cantidad correcta de agua puede estimarse de acuerdo con el índice de huecos a la densidad máxima esperada o por experimentación con el suelo.

- c) Durante e inmediatamente después de llenar el molde, vibre el suelo por un lapso total de 6 min, cuidando de reducir la amplitud del vibrador tanto como sea necesario para evitar que se agite excesivamente. Durante los minutos finales de este vibrado remueva el agua que aparezca sobre la superficie del suelo.
- d) Arme el conjunto de tubo guía, placa base y sobrecarga de acuerdo con 9.1 e).
- e) Vibre el molde cargado durante un período de 8 min. Retire la sobrecarga y el tubo guía; obtenga y registre dos lecturas del calibre, una en cada lado de la placa, determine y registre el promedio de ambas lecturas ( $L_f$ ), aproximando a 0,01 mm.
- f) Retire cuidadosamente el total de la muestra de suelo que llena el molde y seque hasta masa constante. Pese y registre la masa seca del suelo que llena el molde ( $m_s$ ) aproximando a 100 g para el molde de 14,2 l y a 1 g para el molde de 2,8 l.
- g) Repita los pasos anteriores hasta obtener tres o más resultados consistentes. Registre el valor más alto que consiga.

**Nota 7:** Aunque el método seco asegura resultados en un período más breve, en algunos suelos se obtiene una densidad máxima mayor en estado saturado. Al comienzo de un programa de ensayos o cuando hay un cambio notorio de materiales, el ensaye de densidad máxima debe efectuarse en ambas condiciones, seca y húmeda, para determinar con cual de las dos se obtiene la mayor densidad máxima. Si con el ensaye del método húmedo se obtienen densidades superiores a 1%, en los ensayos siguientes debe continuar con este mismo método.

## 10. Expresión de Resultados.

**10.1** Calcule la densidad seca mínima en  $\text{kg/m}^3$  de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10  $\text{kg/m}^3$ .

$$\rho_{\min} = \frac{m_s}{V}$$

donde :

- $\rho_{\min}$  : Densidad seca mínima ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m_s$  : Masa del suelo seco que llena el molde (g)  
 $V$  : Capacidad volumétrica del molde ( $\text{cm}^3$ )

**10.2** Calcule la densidad seca máxima en  $\text{kg/m}^3$  de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10  $\text{kg/m}^3$ .

$$\rho_{\max} = \frac{m_s}{V_c}$$

donde :

- $\rho_{\max}$  : Densidad seca máxima ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m_s$  : Masa seca del suelo que llena el molde (g)  
 $V_c$  : Volumen del suelo compactado, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 1  $\text{cm}^3$ :

$$V_c = V - \frac{(L_i - L_f)}{10} \times A$$

donde:

- $L_i$  : Lectura inicial del calibre ( mm)
- $L_f$  : Lectura final del calibre( mm)
- $A$  : Area seccional del molde (cm<sup>2</sup>).

**10.3** Determine la densidad del suelo en el terreno, por los métodos del cono de arena, de acuerdo con el Método 8.102.9, o nuclear según Método 8.502.1

**10.4** Determine la Densidad Relativa ( $D_R$ ) como un porcentaje, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$D_R = \frac{\rho_{\text{máx}} (\rho_d - \rho_{\text{mín.}})}{\rho_d (\rho_{\text{máx.}} - \rho_{\text{mín.}})} \times 100$$

donde:

- $D_R$  : Densidad relativa (%).
- $\rho_d$  : Densidad del suelo en el terreno (kg/m<sup>3</sup>).
- $\rho_{\text{mín.}}$  : Densidad seca mínima (kg/m<sup>3</sup>).
- $\rho_{\text{máx}}$  : Densidad seca máxima (kg/m<sup>3</sup>).

**Nota 8:** La Densidad Relativa ( $D_R$ ) puede expresarse también en términos del índice de huecos, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$D_R = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} \times 100$$

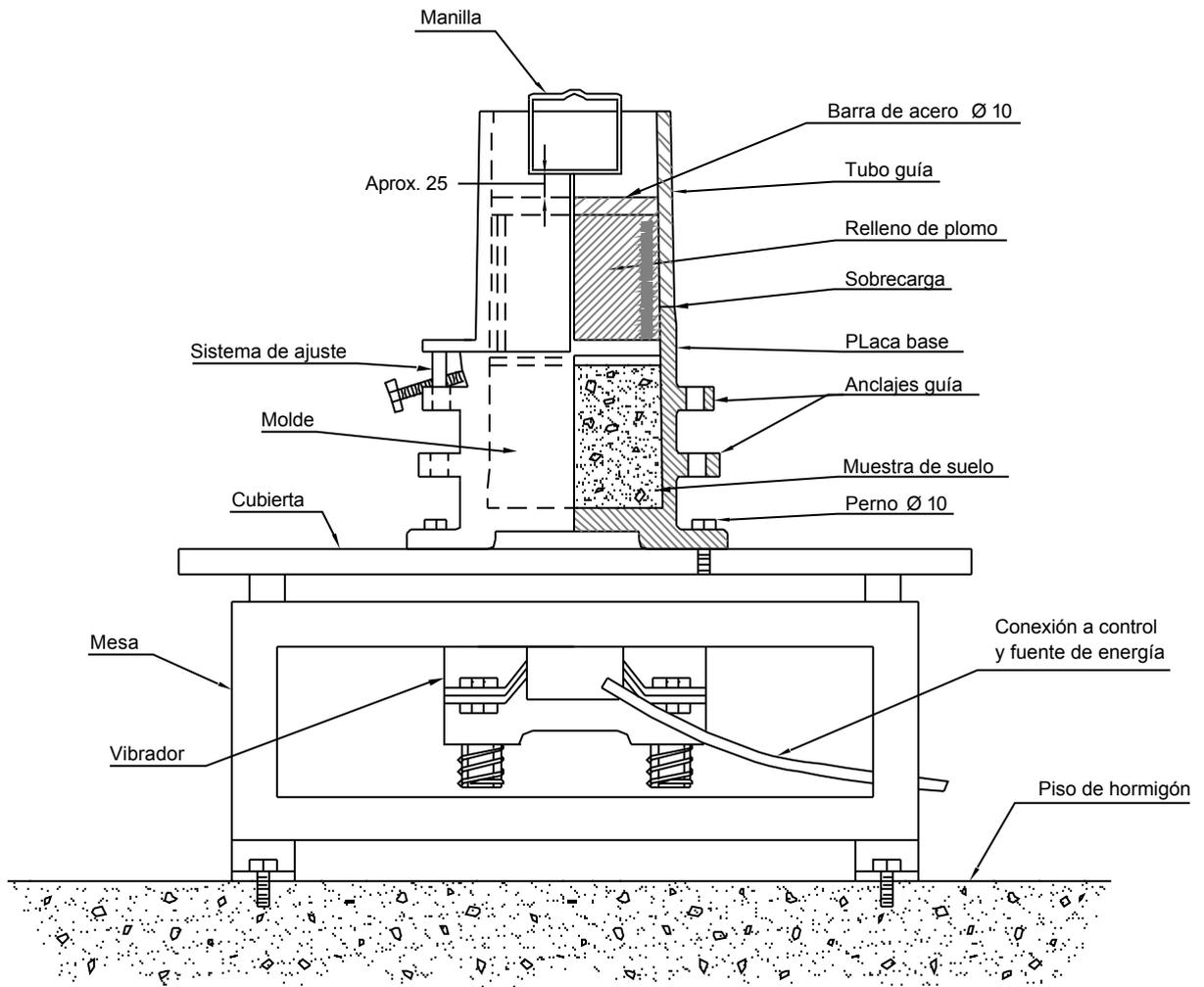
donde:

- $e_{\text{máx}}$  : Índice máximo de huecos (%).
- $e$  : Índice de huecos del suelo en el terreno (%).
- $e_{\text{mín}}$  : Índice mínimo de huecos (%).

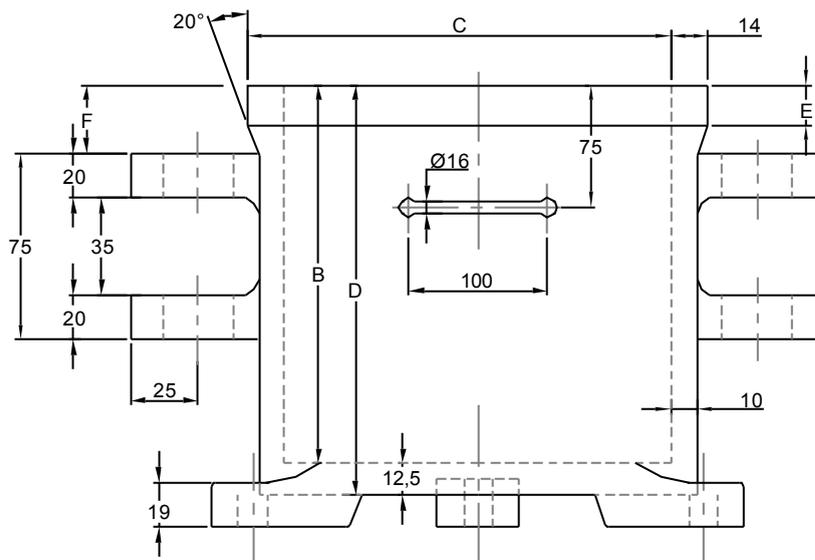
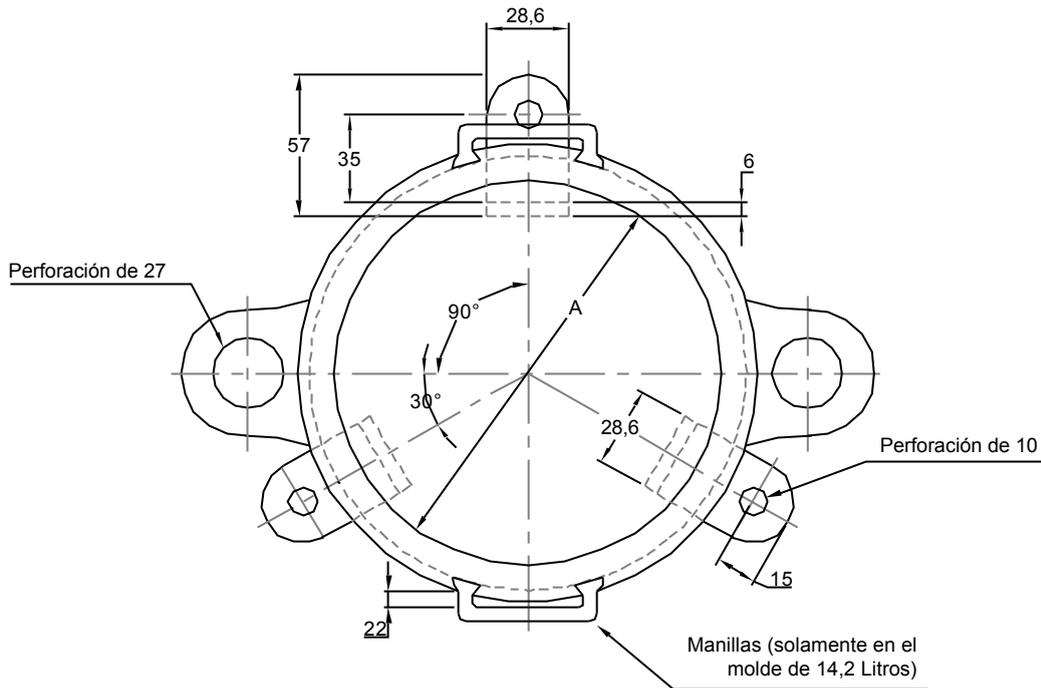
Para valorar los índices de huecos se determina previamente la densidad de partículas sólidas de acuerdo con el Método 8.102.10.

**11. Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado para la densidad mínima (embudo o poruña).
- b) Método empleado para la densidad máxima (seco o húmedo).
- c) Tamaño del molde.
- d) Densidad mínima y densidad máxima.
- e) Densidad en el terreno indicando el procedimiento empleado.
- f) Densidad relativa.
- g) Cualquier información específica referente al ensaye o al suelo en estudio.
- h) La referencia a este Método.

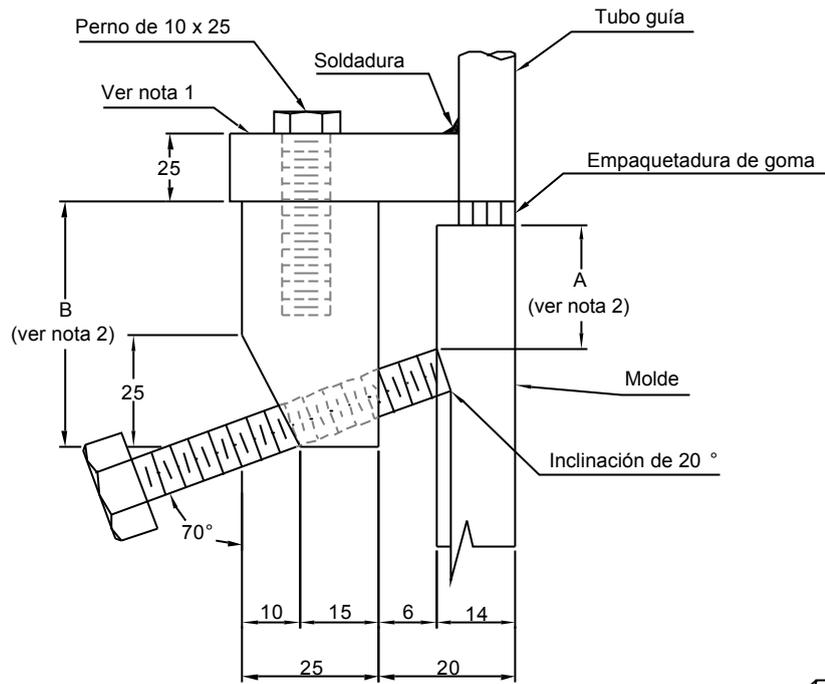


Dimensiones en mm.

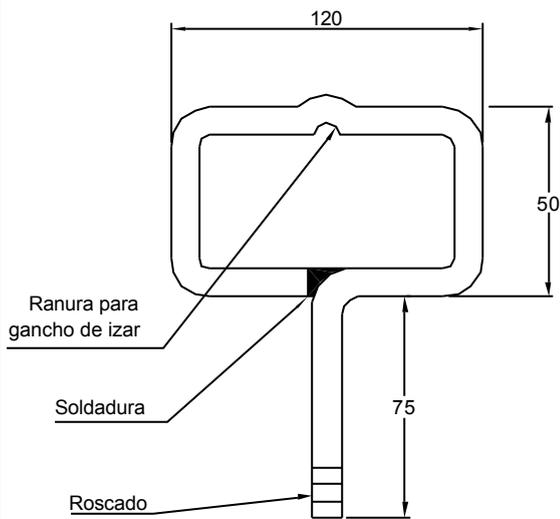


Tamaño nominal del molde L	Dimensiones (mm)					
	A	B	C	D	E	F
2,8	152,4	155,2	180,4	165,1	12,7	28,6
14,2	279,4	230,9	307,4	241,3	15,9	50,8

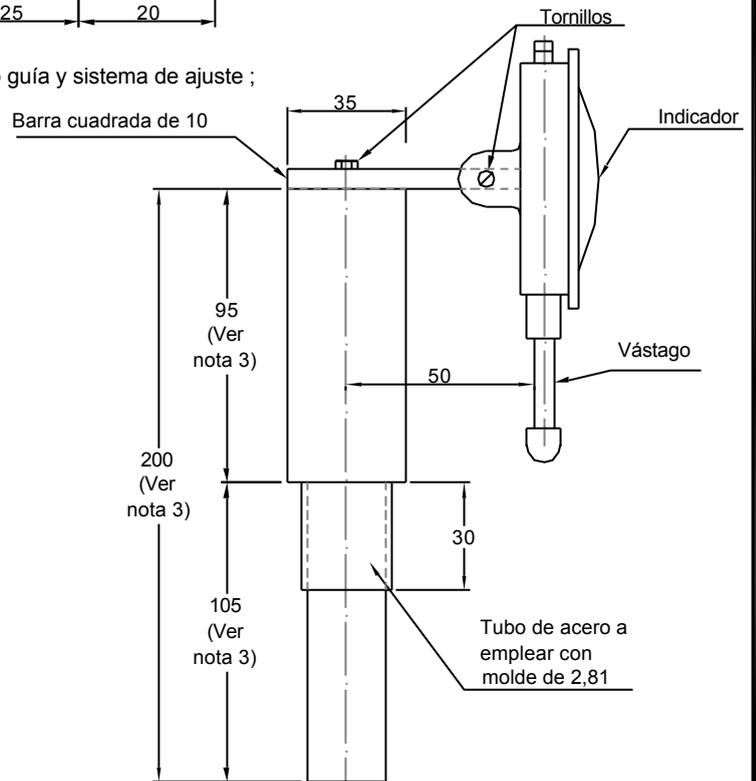
Dimensiones en mm.



a) Tubo guía y sistema de ajuste ;



b) manilla de placa base ; y



c) sujeción del calibre.

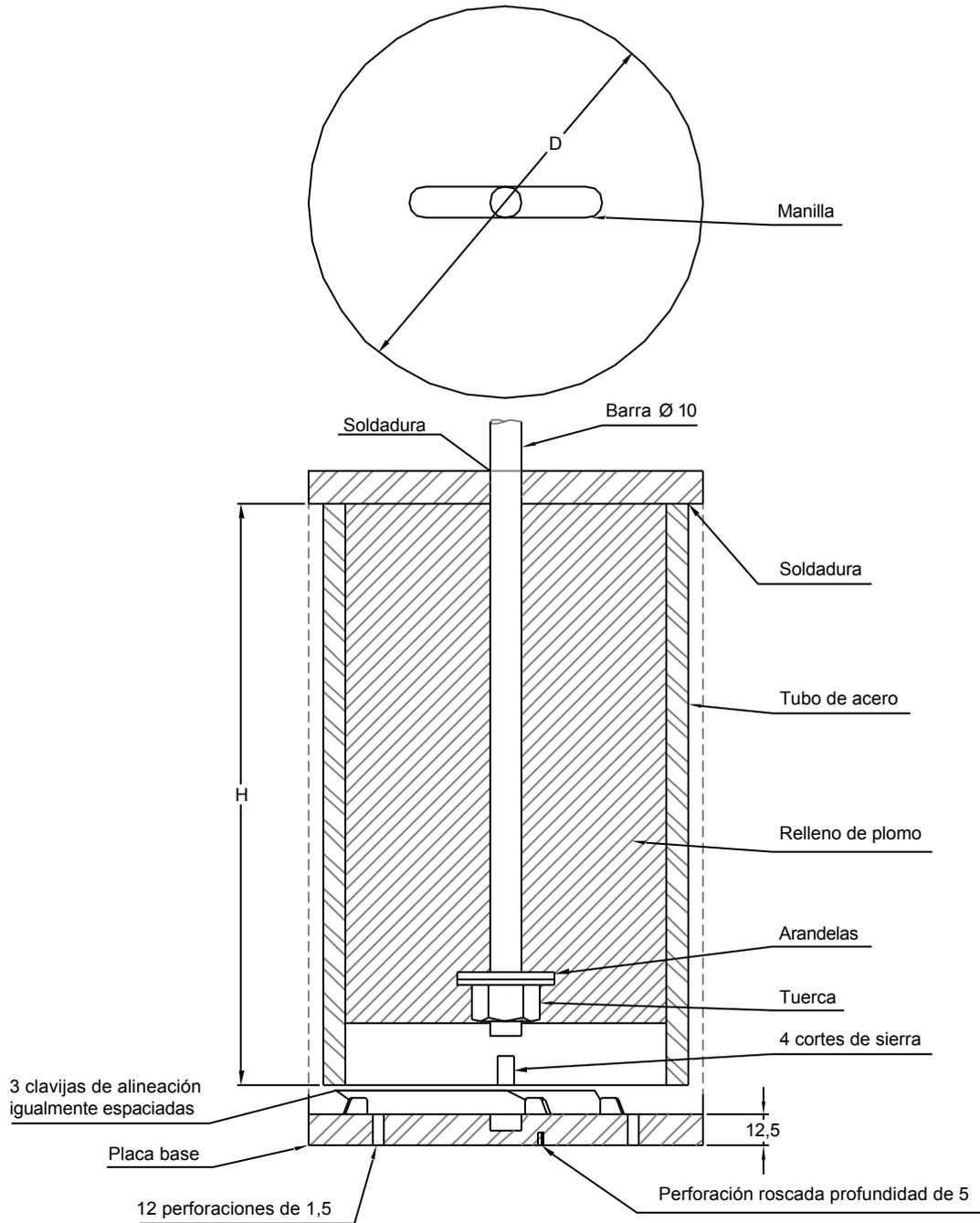
**Nota 1:** Esta pieza debe ser una placa de acero con una sección de 38 mm x 12,5 mm y la longitud necesaria para producir las dimensiones indicadas desde el interior del tubo guía. Soldar tres sistemas de ajuste igualmente espaciados al tubo guía.

**Nota 2:** Ver la tabla siguiente:

Tamaño nominal del molde L	A mm	B mm	Tubo guía, (mm)		
			Diámetro, Interior	Espesor	Alto
2,8	12,7	34,9	152,4	6,4	305
14,2	15,9	38,1	279,4	9,5	203

**Nota 3:** Estas dimensiones deben cambiarse para fijar el calibre empleado.

Dimensiones en mm.



Tamaño nominal del molde, L	D mm	H mm	Tubo mm	Masa Total kg
2,8	150,8	228,6	101,6	25,9 ± 0,2
14,2	276,2	152,4	254,0	86,2 ± 0,4

**Nota 1:** Todas las placas deben ser de 12,5 mm de espesor.

**Nota 2:** Las placas superiores de la sobrecarga pueden ser cortadas con soplete pero sus cantos deben ser pulidos tan lisos como sea posible. Las placas base deben ser rectificadas al diámetro especificado.

**Nota 3:** Las manillas de las sobrecargas deben tener la misma forma que las de la placa base.

Dimensiones en mm.

## 8.102.9 SUELOS: METODO DEL CONO DE ARENA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD EN TERRENO\*

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este método establece un procedimiento para determinar en terreno la densidad de suelos cuyo tamaño máximo absoluto de partículas sea menor o igual a 50 mm (2") en un caso y menor o igual a 150 mm. (6") en el otro.

**1.2** Este procedimiento está referido a dos equipos utilizados en la medición del volumen de la perforación: cono de arena de 6" (cono convencional) y cono de arena de 12" (macrocono).

**1.3** \*El Método 8.102.9 es una adaptación de la norma NCh 1516-79.

### 2.- Referencias.

- Norma NCh 1516-79 Mecánica de Suelos. Determinación de la densidad en el terreno. Método del cono de arena.
- Método 8.102.2 Suelos: Método para determinar el contenido de humedad.
- Método 8.202.20 Agregados Pétreos: Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.

### 3.- Aparatos.

#### 3.1 Conos de Densidad

**a)** Cono Convencional. Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6" de diámetro y 60° de ángulo basal. Un extremo termina en forma de embudo y su otro extremo se ajusta a la boca de un recipiente de aproximadamente 5 l de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta. El aparato debe llevar una placa base. (Ver Lámina 8.102.9.A).

**Nota 1:** El aparato descrito puede usarse con perforaciones de ensaye de aproximadamente 3 litros.

**Nota 2:** El uso de la placa base facilita la ubicación del cono de densidad, permite reducir pérdidas al transferir el suelo desde la perforación al envase y proporciona una base más sólida en suelos blandos. Esta placa debe considerarse como parte constituyente del cono de densidad durante el ensaye.

**b)** Macrocono. Es un aparato medidor de volumen, de forma similar al descrito en 3.1a), construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional. A diferencia de este último, el macrocono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. (Ver Lámina 8.102.9.B)

Este equipo permite el control de capas de suelo de espesor mayor que 20 cm y de hasta 150 mm (6") de tamaño máximo absoluto de partículas.

Este aparato utiliza la misma arena normalizada que el cono convencional. La densidad de esta arena debe ser calibrada con una medida volumétrica de altura igual al espesor de la capa por controlar.

**3.2 Arena Normalizada de Ensaye.** Se compone de partículas cuarzosas sanas, subredondeadas, no cementadas y comprendidas entre 2 mm y 0,5 mm. Debe estar lavada y seca en horno a  $110 \pm 5$  ° C.

Para calibrar la arena deben efectuarse cinco determinaciones de su densidad aparente empleando la misma muestra representativa, de acuerdo con 4.2.

Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones efectuadas no deberá exceder de 1,5% respecto de la media aritmética de ellas.

### 3.3 Depósito para Calibración de la Arena.

- a) En el caso del cono convencional, el depósito consiste en un recipiente metálico, de forma cilíndrica, de 165 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica entre 3 y 3,5 litros.
- b) En el caso del macrocono, el depósito consiste en un recipiente metálico, también de forma cilíndrica, de 300 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica aproximada de 21 litros.

**3.4 Balanzas.** Una con capacidad de 20 kg y resolución de 1 g cuando se utilice el cono convencional, y otra de 50 kg y resolución de 10 g cuando se use el macrocono.

**3.5 Equipo de Secado.** Según Método 8.102.2.

**3.6 Envases.** Recipientes con tapa, tarros de hojalata sin costura con tapa hermética, bolsas de polietileno u otros recipientes adecuados para contener las muestras y la arena de ensaye, respectivamente.

**3.7 Herramientas y Accesorios.** Picota, chuzo, pala, para despejar o alcanzar la cota del punto de medición; combo, cuchillo, martillo, pala jardinera, punto, cincel, cuchara, brocha y huincha de medir, para cavar la perforación de ensaye; termómetro y placas de vidrio para calibrar los depósitos, regla metálica para enrase, libreta de apuntes y/o fichas de registro de datos.

## 4.- Procedimiento de Calibración de la Arena de Ensaye.

### 4.1 Determinación de la Capacidad Volumétrica del Depósito.

- a) Coloque el depósito limpio y seco sobre una superficie firme y horizontal.
- b) Llene el depósito con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- c) Determine la masa de agua que llena el depósito ( $m_w$ ), aproximando a 1 g.
- d) Mida la temperatura del agua y determine su densidad ( $\rho_w$ ), de acuerdo con la Tabla 8.102.9.A.
- e) Determine y registre la capacidad volumétrica ( $V_M$ ), aproximando a 1 cm<sup>3</sup>, dividiendo la masa de agua que llena el depósito por su densidad:

$$V_M = m_w / \rho_w$$

**TABLA 8.102.9.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA SEGUN LA TEMPERATURA**

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
8	0,9999
9	0,9998
10	0,9997
11	0,9996
12	0,9995
13	0,9994
14	0,9993
15	0,9991
16	0,9990
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9976
24	0,9973
25	0,9971
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9963

#### 4.2 Determinación de la Densidad Aparente de la Arena de Ensaye.

- a) Llene el aparato de densidad con la arena de ensaye, evitando cualquier derrame de ésta.
- b) Coloque el depósito limpio y seco en una superficie plana, firme y horizontal; monte sobre él la placa base y posicione el aparato de densidad sobre la placa.
- c) Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
- d) Retire el aparato de densidad, la placa base y el exceso de arena. Enrase cuidadosamente con una regla metálica, evitando producir vibración. Una vez efectuado el enrase, asiente la arena dando golpes suaves en el manto del depósito.
- e) Determine la masa de arena que lleva el depósito ( $m_A$ ), aproximando a 1 g.
- f) Determine la densidad de la arena ( $\rho_A$ ), dividiendo la masa de ésta que llena el depósito por la capacidad volumétrica del depósito:

$$\rho_A = m_A / V_M$$

- g) Efectúe esta determinación cinco veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,5%, respecto de la media aritmética de ellas. De no cumplirse esta condición, repita el ensaye.
- h) Determine y registre la densidad aparente de la arena de ensaye como el promedio de los cinco valores obtenidos. Expresar el resultado en g/cm<sup>3</sup>, con una aproximación de dos decimales.

**Nota 3:** Un lapso prolongado entre esta determinación y el empleo de la arena en terreno puede alterar la densidad por un cambio en su contenido de humedad o en su gradación efectiva.

#### 4.3 Determinación de la Masa de Arena que Llena el Cono Basal.

- a) Llene el aparato de densidad con arena. Determine y registre su masa ( $m_i$ ), aproximando a 1 g.
- b) Coloque la placa base sobre una superficie plana, firme y horizontal, asentando el aparato de densidad sobre la placa.
- c) Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.

- d) Cierre la válvula. Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente ( $m_F$ ), aproximando a 1 g.
- e) Determine y registre la diferencia entre las masas inicial y final como la masa de arena que llena el cono basal ( $m_C$ ), aproximando a 1 g :

$$m_C = m_I - m_F$$

- f) Efectúe esta operación tres veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las tres determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,0%, respecto de la media aritmética de ellas.

## 5.- Determinación de la Densidad del Suelo en el Terreno.

### 5.1 Determinación del Volumen de la Perforación de Ensaye.

- a) Seleccione y prepare la superficie del punto por controlar, nivelándola si fuese necesario para conseguir un buen asentamiento de la placa.
- b) Coloque la placa base sobre la superficie nivelada.
- c) Proceda a excavar dentro de la abertura de la placa base, iniciando la excavación con un diámetro menor que ésta y afinando luego hacia los bordes. La profundidad de la excavación debe ser similar al espesor de la capa bajo control.

**Nota 4:** Al ejecutar la excavación se debe tener cuidado de no alterar las paredes del suelo que delimitan la perforación, especialmente en el caso de suelos granulares.

- d) Coloque todo el suelo excavado en un envase o bolsa, el cual debe cerrar herméticamente para conservar la humedad del suelo y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.

**Nota 5:** En caso que al efectuar la perforación se encuentre una o más partículas cuyos tamaños máximos absolutos excedan los valores indicados en 1.1 (50 o 150 mm según corresponda), éstas no serán devueltas a la excavación, debiéndose determinar su masa y volumen según Método 8.202.20, para restar luego dichos valores a las respectivas medidas de terreno.

- e) Determine y registre la masa del aparato de densidad con el total de arena ( $mt_i$ ), aproximando a 1 g. Asiente el aparato de densidad sobre la placa, abra la válvula y ciérrela una vez que la arena ha dejado de fluir.
- f) Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente ( $mt_f$ ), aproximando a 1 g.
- g) Determine y registre la masa de arena contenida en la perforación de ensaye ( $m_P$ ), aproximando a 1 g.

$$m_P = ( mt_i - mt_f ) - m_C$$

- h) Recupere la arena de ensaye y déjela en un envase aparte para su posterior acondicionamiento. Previo a su nueva utilización, ésta debe cumplir con los requisitos establecidos en 3.2.
- i) El volumen de la perforación de ensaye ( $V_P$ ) se calcula como:

$$V_P = m_P / \rho_A$$

donde:

- $V_P$  : Volumen de la perforación de ensaye ( $cm^3$ )
- $m_P$  : Masa de arena contenida en la perforación de ensaye (g)
- $\rho_A$  : Densidad aparente de la arena de ensaye ( $g/cm^3$ )

### 5.2 Determinación de la Masa Seca del Material Extraído de la Perforación de Ensaye.

- a) Inmediatamente después de extraer todo el material de la perforación de ensaye, determine y registre su masa húmeda ( $m_h$ ), aproximando a 1 g. Envase en frascos o bolsas, herméticamente a fin de conservar su humedad y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.

- b) Extraiga una muestra representativa de este material, del tamaño indicado en la Tabla 8.102.9.B, para suelos cuyos tamaños máximos absolutos de partículas no superen los 50 mm y sean controlados con el cono convencional.

En el caso de suelos con tamaño máximo absoluto de partículas de hasta 150 mm ( 6" ) y que, por lo tanto, deban controlarse mediante el macrocono, considere una masa mínima de muestra de 24 kg para la determinación de humedad.

En el caso de suelos naturales de tamaños máximos mayores que 3" (80 mm) y menores o iguales que 6" (150 mm), controlados con el macrocono, considere para la determinación de humedad una masa mínima de muestra de 36 kg.

**TABLA 8.102.9.B**  
**MASA MINIMA DE MUESTRA PARA DETERMINAR LA HUMEDAD**  
**EN SUELOS DE TAMAÑO MAXIMO ABSOLUTO MENOR O IGUAL que 50 mm**

Tamaño máximo absoluto de partículas (mm)	Masa mínima de muestra (g)
50	3.000
25	1.000
12,5	750
5	500
2	100
0,5	10

- c) Determine la humedad ( w ) de la muestra en laboratorio, según Método 8.102.2.

**Nota 6:** En suelos en que predominan las partículas gruesas es recomendable determinar la humedad sobre el total del material extraído.

## 6.- Presentación de los Resultados.

**6.1 Determinación de la Masa Seca del Material Extraído de la Perforación de Ensaye.** Determine la masa seca del material extraído de la perforación de ensaye mediante la expresión:

$$m_s = \frac{m_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

donde:

- $m_s$  : Masa seca del material extraído de la perforación de ensaye (g).
- $m_h$  : Masa húmeda del material extraído de la perforación de ensaye (g), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante Método 8.102.7 (Próctor Modificado) u 80 mm en caso de efectuarse mediante 8.102.8 (Densidad Relativa), según corresponda.
- w : Humedad del suelo determinada según Método 8.102.2 (%).

**6.2 Determinación de la Densidad del Suelo.** La densidad seca del suelo se determina mediante la expresión:

$$\rho_d = m_s / V_p$$

donde:

- $\rho_d$  : Densidad del suelo seco (g/cm<sup>3</sup>).
- $m_s$  : Masa seca del material extraído de la perforación de ensaye (g)

$V_P$  : Volumen de la perforación de ensaye ( $\text{cm}^3$ ), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante Método 8.102.7 (Próctor Modificado) u 80 mm en caso de efectuarse mediante 8.102.8 (Densidad Relativa), según corresponda.

**Nota 7:** La densidad del suelo puede expresarse también como densidad del suelo húmedo, indicando además la humedad correspondiente ( $w$ ) de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_h = m_h / V_P$$

donde:

$\rho_h$  : Densidad del suelo húmedo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

**Nota 8:** Combinando las últimas fórmulas puede expresarse la densidad del suelo seco en función de la densidad del suelo húmedo y del porcentaje de humedad, mediante la relación:

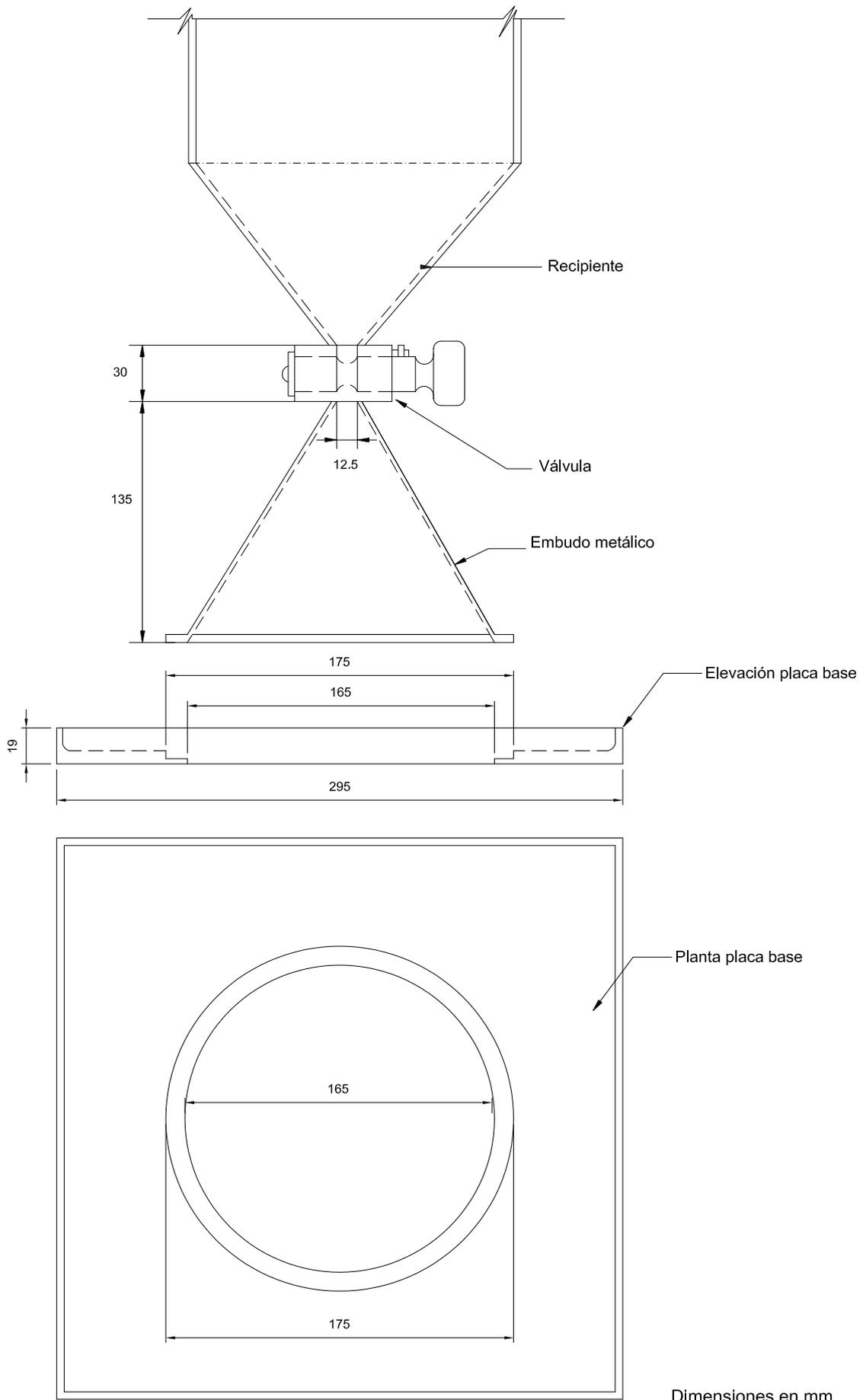
$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

donde:

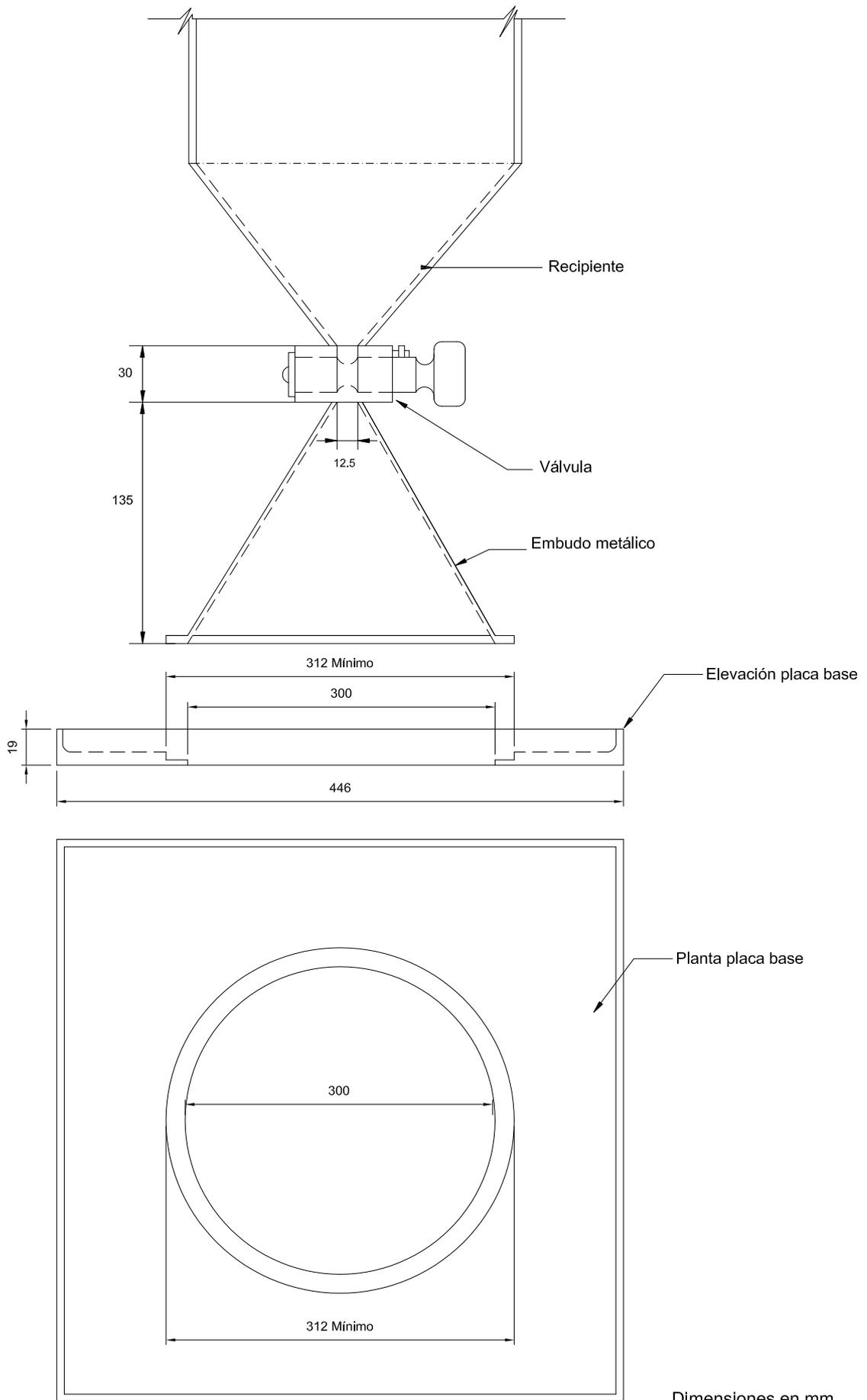
$\rho_d$  : Densidad del suelo seco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$\rho_h$  : Densidad del suelo húmedo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$w$  : Humedad del suelo (%).



Dimensiones en mm



Contrato/Camino:

Sector:

Tramo a Controlar:

Material:

Fecha Control:

Responsable Control Terreno:

		1	2	3	4	5	6
	Kilómetro						
	Capa/Cota/Estrato						
	Lado						
	Espesor (cm)						
A	Densidad arena normalizada de ensaye	(g/cm <sup>3</sup> )					
B	Masa suelo húmedo	(g)					
C	Masa húmeda de partículas mayores a 50 u 80 mm(*)	(g)					
D	Masa húmeda de control (B - C)	(g)					
E	Masa inicial de arena	(g)					
F	Masa arena remanente	(g)					
G	Masa arena en cono basal	(g)					
H	Volumen perforación de ensaye (E - F - G) / A	(cm <sup>3</sup> )					
I	Volumen partículas mayores a 50 u 80 mm (*)	(cm <sup>3</sup> )					
J	Volumen de la masa de control (H - I)	(cm <sup>3</sup> )					
K	Densidad húmeda (D / J)	(g/cm <sup>3</sup> )					
L	Densidad seca K / ( 1 + W / 100 )	(g/cm <sup>3</sup> )					
M	DMCS	(g/cm <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>					
N	Porcentaje de compactación ( L / M ) * 100	(%)					
HUMEDAD: w							
O	Masa recipiente + suelo húmedo	(g)					
P	Masa recipiente + suelo seco	(g)					
Q	Masa recipiente	(g)					
R	Masa suelo seco (P - Q)	(g)					
w	Humedad 100 *(O - P) / R	(%)					

( \* ) Nota : Partículas mayores a 50 mm cuando el control se efectúe en base a Próctor Modificado (Método 8.102.7)

Partículas mayores a 80 mm cuando el control se efectúe en base a Densidad Relativa (Método 8.102.8)

Responsable ensaye: .....

Fecha de informe: .....

V° B° Jefe Laboratorio: .....



## 8.102.10 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm se debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según Método 8.202.20.

Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5 mm, separe en el tamiz de 5 mm (ASTM N° 4), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyelas por separado con el método correspondiente. El resultado es el promedio ponderado de ambas fracciones.

\* El Método 8.102.10 es una adopción de la norma NCh 1532 – 80.

**2.- Terminología.** Los símbolos, unidades y definiciones son los que figuran en NCh 179.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Picnómetro.** Frasco volumétrico con una capacidad igual o mayor que 100 ml o botella con tapón con una capacidad igual o mayor que 50 ml; el tapón debe ser del mismo material que la botella, de forma y tamaño adecuados para insertarse fácilmente a una profundidad marcada en el cuello de la botella y tener una perforación central que permita la eliminación de aire y agua sobrante.

**Nota 1:** El uso del frasco o la botella es optativo pero, en general, debe usarse el frasco para suelos cuyo tamaño máximo de partículas requiera muestras mayores. El uso de un matraz de 500 ml es también aceptado si la muestra de suelo así lo requiere.

**3.2 Balanza.** Con resolución de 0,01 g, si se emplea el frasco o con resolución de 0,001 g, si se emplea la botella.

**3.3 Reductor de Presión.** Aspirador o bomba de vacío y sus accesorios.

**3.4 Herramientas y Accesorios.** Recipientes para las muestras, brochas, poruña, embudo, termómetro, horno, secador, etc.

**4.- Materiales.** Agua destilada o desmineralizada desaireada, kerosene, solución disolvente de grasas, etc.

### 5.- Calibración del Picnómetro.

**5.1** Limpie, seque, pese y registre la masa del picnómetro vacío (Mf).

**Nota 2:** Por ejemplo, la limpieza del picnómetro se puede efectuar con amoníaco o algún disolvente de grasa; en seguida se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir colocándolo boca abajo. Posteriormente se lava con alcohol, dejándolo escurrir; finalmente se lava con éter, eliminando así los vapores al dejar el picnómetro boca abajo durante 15 min.

**5.2** Llene con agua destilada a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Seque el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Pese y registre la masa del picnómetro más el agua (Ma).

**5.3** Inserte un termómetro en el agua hasta el centro del picnómetro. Determine y registre la temperatura de calibración ( $t_i$ ) aproximando a 1°C.

**Nota 3:** El kerosene es mejor agente humedecedor que el agua para la mayoría de los suelos y puede usarse en lugar del agua destilada en muestras secadas al horno.

**5.4** De la masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración ( $Ma_{ti}$ ) se debe preparar una tabla de valores de  $Ma$  para la serie de temperaturas que probablemente prevalezcan durante el ensaye.

**5.5** Calcule los valores de  $Ma$  a distintas temperaturas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$Ma_{tx} = \frac{\rho_{w_{tx}}}{\rho_{w_{ti}}} \times (Ma_{ti} - Mf) + Mf$$

donde:

$Ma_{tx}$  : Masa del picnómetro más el agua a una temperatura  $x$  dada (g).

$\rho_{w_{tx}}$  : Densidad del agua a una temperatura  $x$  dada ( $g/cm^3$  o  $kg/l$ ).

$\rho_{w_{ti}}$  : Densidad del agua a la temperatura de calibración ( $g/cm^3$  ó  $kg/l$ ) (ver Tabla 8.102.10.A).

$Ma_{ti}$  : Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (g).

$Mf$  : Masa del picnómetro vacío (g).

**Nota 4:** Este procedimiento es muy conveniente para laboratorios que hacen muchas determinaciones con el mismo picnómetro; también es aplicable a una sola determinación. Llevar el picnómetro y su contenido a una temperatura determinada, requiere un tiempo considerable, por lo que resulta mucho más conveniente trabajar con la tabla de valores  $Ma$ . Es importante que los valores del picnómetro más el agua, como  $Ma$  y  $Mm$  (definido en 10), se basen en agua a la misma temperatura.

**TABLA 8.102.10.A**  
**DENSIDAD DEL AGUA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA**

Temperatura (°C)	Densidad* ( $g/cm^3$ ) (kg/l)	K (adimensional)
16	0,99909	1,0009
18	0,99859	1,0004
20	0,99820	1,0000
23	0,99754	0,9993
26	0,99678	0,9986
29	0,99594	0,9977

\* Estos mismos valores, tomados en su forma adimensional, corresponden a la densidad relativa del agua.

**6.- Muestreo.** Las muestras de suelo se deben obtener de acuerdo con lo indicado en las especificaciones técnicas correspondientes, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

**7.- Tamaño de la Muestra.** La muestra de ensaye compuesta por partículas menores que 5 mm debe tener un tamaño mínimo, referido a su masa seca, de 60 g cuando se usa el frasco y de 10 g cuando se usa la botella con tapón. Para el matraz de 500 ml la masa mínima a usar debe estar entre 60 g a 100 g, dependiendo del tipo de suelo.

**8.- Acondicionamiento.** La muestra de ensaye puede estar con su humedad natural o seca en horno.

**8.1 Muestra de Ensaye con su Humedad Natural.** Determine y registre la masa seca (ms) al final del ensaye, evaporando el agua en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Las muestras de suelo arcilloso con su humedad natural deben dispersarse antes de colocarlas en el frasco.

**Nota 5:** El volumen mínimo que puede prepararse con el equipo dispersor es tal que se necesita un frasco de 500 ml como picnómetro.

**8.2 Muestra de Ensaye Seca en Horno.** Seque hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ; enfríe en un secador, pese y registre la masa seca (ms). A continuación sumerja la muestra en agua destilada por, a lo menos, 12 h.

**Nota 6:** El secado de ciertos suelos a  $110^\circ\text{C}$  puede extraer humedad de composición o hidratación. En tales casos el secado debe efectuarse con presión de aire reducida y a temperatura más baja (ver Método 8.102.2).

Cuando se elimina cualquier porción de la muestra original de suelo al preparar la muestra, debe indicarse en el informe la porción sobre la cual se ha efectuado el ensaye.

**9.- Procedimiento de Ensaye.** Coloque la muestra en el picnómetro, cuidando de evitar pérdidas del material cuando ya se ha determinado su masa seca. Agregue agua destilada cuidadosamente, evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar aproximadamente 3/4 de la capacidad del frasco o la mitad de la capacidad de la botella.

Remueva el aire atrapado por uno de los siguientes procedimientos:

**9.1** Someta el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 13,3 kPa ( $\approx 100$  mm Hg)). Para evitar un burbujeo excesivo aplique un vacío gradual que aumente lentamente hasta el máximo, el cual deberá mantenerse durante 15 min, por lo menos, para conseguir un desairado completo. El picnómetro debe agitarse suavemente para ayudar a la remoción del aire.

**9.2** Caliente o hierva, por a lo menos 10 min, haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del aire. Posteriormente someta el contenido a presión de aire reducido.

**9.3** Si no cuenta con sistema de vacío, puede colocar el picnómetro en un baño maría de glicerina. Por lo general, 10 min. de hervor son suficientes para expulsar el aire contenido en el material (ocasionalmente el picnómetro debe girarse para ayudar a la remoción del aire); en este caso debe esperar a que el picnómetro alcance nuevamente la temperatura ambiente para proseguir la prueba.

Tape el picnómetro con la muestra y, cuando corresponda, deje enfriar a temperatura ambiente.

Agregue agua destilada hasta llenar el picnómetro. Limpie y seque el exterior con un paño limpio y seco. Determine y registre la masa del picnómetro con la muestra y el agua (Mm). Determine y registre la temperatura de ensaye del contenido (tx) aproximando a  $1^\circ\text{C}$ .

**Nota 7:** Es recomendable efectuar dos veces cada prueba a fin de obtener una comprobación.

**10.- Expresión de Resultados.** Calcule la densidad de partículas sólidas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_s = \frac{ms}{(ms + Ma) - Mm} \times \rho_{wtx}$$

donde :

$\rho_s$  : Densidad de partículas sólidas ( $\text{g/cm}^3$  ó  $\text{kg/l}$ )  
ms : Masa seca de la muestra de ensaye (g)  
Ma : Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de ensaye (g) (este valor debe tomarse de la tabla de valores Ma, preparada de acuerdo con 5.5.

Mm : Masa del picnómetro más la muestra y el agua a la temperatura de ensaye(g).

**Nota 8:** La norma ASTM D 854 - 58 determina un valor adimensional y Peso Específico, definido como el cociente entre la densidad del suelo y la densidad del agua a una temperatura determinada (de acuerdo con la definición, este valor es una densidad relativa). Cuando se desee determinar este valor, proceder como sigue:

**10.1** Para obtener  $G_s$  respecto del agua a 20°C, se aplica la fórmula siguiente:

$$G_{s\text{ tx}/20^\circ\text{C}} = G_{s\text{ tx}/\text{tx}} \times K = \frac{\rho_s}{\rho_{w\text{ }20^\circ\text{C}}}$$

donde:

$G_{s\text{ tx}/20^\circ\text{C}}$  = valor de Peso Específico respecto del agua a 20°C.

$$G_{s\text{ tx}/\text{tx}} = \frac{ms}{(ms + Ma) - Mm}$$

$$K = \frac{\rho_{w\text{ tx}}}{\rho_{w\text{ }20^\circ\text{C}}}, \text{ este valor se obtiene de la tabla.}$$

**10.2** Para obtener  $G_s$  respecto del agua a 4°C, se aplica la fórmula siguiente:

$$G_{s\text{ tx}/4^\circ\text{C}} = G_{s\text{ tx}/\text{tx}} \times prw_{\text{ tx}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w\text{ }4^\circ\text{C}}} = \frac{\rho_s}{1\text{ kg/l}}$$

donde:

$G_{s\text{ tx}/4^\circ\text{C}}$  : Valor del Peso Específico respecto del agua a 4°C.

$prw_{\text{ tx}}$  : Densidad Relativa del agua a la temperatura del ensaye.

Corresponde a:

$$prw_{\text{ tx}} = \frac{\rho_{w\text{ tx}}}{\rho_{w\text{ }4^\circ\text{C}}} = \frac{\rho_{w\text{ tx}}}{1\text{ kg/l}}$$

**11. Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Resultado del ensaye.
- b) Cualquier información específica relativa al ensaye o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.

## 8.102.11 SUELOS: METODO DE ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)\*

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

**Nota 1:** La denominación CBR se deriva de "California Bearing Ratio".

**1.2** Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

**1.3** No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (20 mm), el ensaye es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad de material inferior a 30% que pasa por el tamiz de 50 mm y es retenido en el tamiz de 20 mm.

**Nota 2:** Cuando el tamaño máximo absoluto del material en estudio sea superior a 20 mm, el peso retenido en este tamiz se reemplazará por uno equivalente de material de la misma muestra que pasa por 20 mm y es retenido en 5 mm.

\*El Método 8.102.11 es una adaptación de la norma NCh 1852-81.

### 2.- Referencias.

- NCh 1852.Of 81 Mecánica de Suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.
- AASHTO T 193-93 The California Bearing Ratio.
- ASTM D 1883-94 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory - Compacted Soils.
- NLT- 111/87 Índice CBR en el laboratorio.
- Método 8.102.2 Suelos: Método para determinar el contenido de humedad
- Método 8.102.6 Suelos: Método para determinar la relación humedad/densidad - ensaye Próctor normal.
- Método 8.102.7 Suelos: Método para determinar la relación humedad/densidad - ensaye Próctor modificado.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras

**3.- Resumen del Método.** Este método consiste en medir la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2"). El índice CBR es la relación, expresada en porcentaje, entre dicha presión y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%. Para la ejecución del ensaye se compactan al menos tres probetas con la humedad óptima y niveles de densidad variables.

### 4.- Equipos y Accesorios.

**4.1 Prensa de Ensaye.** Está conformada por un marco de carga con una capacidad mínima de 44,5 kN (10.000 lbf) y una gata mecánica capaz de desplazar una base metálica rígida a una velocidad uniforme y sin pulsaciones, de 1,27 mm/min, contra el pistón de penetración. Este último debe estar equipado con un dispositivo indicador de carga de una capacidad mínima de 26,7 kN (6.000 lbf), que permita registrar lecturas con una resolución mínima de 50 N. El pistón debe llevar, además, sujeto a él, un dial de penetración graduado en milésimas de pulgada (0,025 mm).

**Nota 3:** Para bajos valores de CBR (inferiores a 5%), se recomienda el uso de dispositivos indicadores de carga con resolución mínima de 30 N.

**4.2 Moldes.** Metálicos, cilíndricos, con un diámetro interno de  $152,4 \pm 0,7$  mm y una altura de  $177,8 \pm 0,5$  mm. Deben tener un collar de extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5 mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm.

**4.3 Disco Espaciador.** Metálico, cilíndrico, con un diámetro de  $150,8 \pm 0,8$  mm y una altura de  $61,4 \pm 0,2$  mm.

**4.4 Pisón.** Debe cumplir con lo especificado en los Métodos 8.102.6 ó 8.102.7.

**4.5 Aparato Medidor de Expansión (Hinchamiento).** Compuesto por:

- a) Una placa metálica de  $149,2 \pm 1,6$  mm de diámetro, por cada molde. La placa debe tener perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm, y estar provista de un vástago ajustable de metal en el centro, con un sistema de tornillo y contratuerca que permita regular y fijar su altura.
- b) Un trípode metálico por cada molde, cuyas patas puedan apoyarse en el borde de éste, y que lleve montado en el centro un calibre comparador con indicador de dial, con resolución de lectura 0,025 mm. El vástago debe desplazarse libremente y coincidir con el de la placa, de forma tal que permita controlar la posición de ésta y medir el hinchamiento (ver Lámina 8.102.11.A).
- c) Un dial para medir expansión, por cada molde, con resolución de lectura 0,025 mm.

**4.6 Cargas.** Para cada molde se debe disponer de una carga metálica anular y varias cargas ranuradas de  $2,27 \pm 0,05$  kg cada una. La carga anular, de diámetro exterior de  $149,2 \pm 1,6$  mm, debe disponer de una perforación u orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro (ver Lámina 8.102.11.A).

**Nota 4:** Para disminuir el número de discos de carga necesarios para el ensaye, se pueden utilizar combinadamente discos confeccionados en plomo y en acero.

**4.7 Pistón de Penetración.** Metálico, cilíndrico, de  $49,6 \pm 0,1$  mm de diámetro y una longitud no inferior a 101,6 mm.

**4.8 Otros equipos y Accesorios.**

- a) Un tambor o depósito de capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua, ubicado en un lugar tal que ésta no alcance su punto de congelación.
- b) Un horno con circulación de aire y temperatura regulable, que permita el secado de muestras a  $110 \pm 5$  ° C.
- c) Balanza de 20 kg de capacidad y resolución 1 g.
- d) Balanza de 2 kg de capacidad y resolución 0,1 g.
- e) Tamices.
- f) Otros: Pailas, recipientes, probetas graduadas, poruñas, espátulas, reglas, brochas, discos de papel filtro, cronómetro, etc.

**5.- Muestras.** Prepare una muestra de acuerdo a lo indicado en los Métodos 8.102.6 u 8.102.7, de un tamaño aproximadamente igual a 70 kg. Efectúe un cuarteo mediante el Método 8.202.2 para obtener dos porciones de aproximadamente 35 kg cada una. Destine una de las porciones de 35 kg para el ensaye de humedad - densidad (Métodos 8.102.6 u 8.102.7), y divida el resto de la muestra en 5 porciones representativas de aproximadamente 7 kg cada una para la ejecución del ensaye CBR.

**6.- Relación Humedad – Densidad.** Determine el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada seca (DMCS) del material, de acuerdo con los Métodos 8.102.6 u 8.102.7, métodos B o D.

## 7.- Preparación de las Probetas.

**7.1** Compacte al menos 3 probetas en un rango de 90% a 100% de la densidad máxima compactada seca determinada en 6.

**7.2** Mezcle homogéneamente con agua cada una de las tres o más porciones de suelo por ensayar, previo secado en horno a 60° C hasta masa constante. Agregue la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada en 6. Luego proceda a curar la mezcla, colocando ésta en un dispositivo tapado hasta obtener una distribución uniforme de humedad.

**Nota 5:** En suelos de media a alta plasticidad el plazo de curado podrá variar entre 12 y 24 h. En suelos de baja a nula plasticidad este tiempo se podrá reducir a 30 - 60 min.

**7.3** Para cada molde coloque el disco espaciador sobre la placa base. Fije el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y coloque un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador.

**7.4** Compacte cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas igual al de las probetas usadas en el ensaye de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía de tal manera que la densidad en la cual se desee determinar la razón de soporte quede entre las densidades de dos probetas.

**Nota 6:** Generalmente se utilizan probetas compactadas con 56, 25 y 10 golpes. Si la densidad en la cual se desea determinar el CBR es menor que la del molde de 10 golpes, se deberá confeccionar otra probeta con menor energía.

**7.5** Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500 g.

**7.6** Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtenga la muestra para la determinación de humedad después de efectuar la penetración, según procedimiento indicado en 8.6.

**Nota 7:** En zonas desérticas, en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm y no nieve, se puede eliminar la inmersión.

**7.7** Retire el collar de extensión y enrase cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde. Rellene con material fino bajo 5 mm cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por eliminación de material grueso.

**7.8** Saque la placa base perforada y el disco espaciador y pese el molde con el suelo compactado. Determine la masa del suelo compactado (m), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.

**7.9** Determine la densidad de la muestra antes de la inmersión ( $\rho$ ), dividiendo la masa de suelo compactado (m) por la capacidad volumétrica del molde (v);

$$\rho = m / v$$

Registre, aproximando el resultado a 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

**7.10** Coloque un disco de papel filtro grueso sobre la placa base perforada, invierta el molde y fíjelo a dicha placa, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

**Nota 8:** Cuando hay riesgo de disgregación del suelo compactado en el molde, éste debe pesarse junto con la placa base. En este caso deben restarse tanto la masa del molde como la de la placa base para determinar m.

**7.11** Coloque el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplique las cargas hasta producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 kg (5 lb). En ningún caso debe ser menor que 4,54 kg (10 lb).

**7.12** Si la muestra va a ser sometida a inmersión, coloque los moldes con sus respectivas cargas en el recipiente sin agua y acomode el aparato de expansión a cada uno de los moldes, tomando lecturas iniciales de expansión o hinchamiento. Luego agregue el agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de ésta a las probetas, las que debe dejar sumergidas durante 96 h. Durante este período mantenga la muestra sumergida a un nivel de agua constante, sin producir vibraciones que puedan alterar las mediciones de expansión.

**Nota 9:** Para suelos granulares que absorben humedad fácilmente y cuyo CBR, efectuado con inmersión de 96 h, sea mayor que 40%, podrá considerarse una reducción del tiempo de inmersión hasta un mínimo de 24 h.

**7.13** Al término del período de inmersión, tome las lecturas finales de expansión a cada una de las probetas y calcule el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de éstas:

$$\text{Porcentaje de expansión} = \frac{\text{expansión (mm)}}{116,4} \cdot 100$$

**7.14** Saque el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuide de no alterar la superficie de la probeta mientras se extrae el agua. Puede ser necesario inclinar la probeta para eliminar el agua superficial.

**7.15** Retire las cargas y la placa base perforada. Pese el molde con el suelo. Determine la masa de suelo compactado después de la inmersión ( $m_i$ ), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.

**7.16** Determine la densidad de la muestra después de la inmersión ( $\rho_i$ ) dividiendo la masa de suelo compactado ( $m_i$ ) por la capacidad volumétrica del molde ( $v$ ):

$$\rho_i = m_i / v$$

Registre, aproximando a 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

## 8.- Penetración.

**8.1** Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 kg (5 lb) y en ningún caso menor que 4,54 kg (10 lb). Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el período de inmersión.

Para evitar el sollevamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas, coloque en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración. Luego coloque las cargas restantes.

**8.2** Apoye el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso de 45 N. Coloque los calibres de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga - penetración.

**Nota 10:** El dial de penetración debe estar adosado directamente al pistón y apoyado en el borde del molde.

**8.3** Aplique la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea de 1,27 mm/min.

**8.4** Anote las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18; 3,81; 4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7 mm.

**Nota 11:** Para equipos con diales en pulgadas estos intervalos corresponden aproximadamente a: 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; 0,125; 0,150; 0,175; 0,200; 0,300; 0,400 y 0,500 pulgadas.

**8.5** Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que 12,7 mm.

**8.6** El ensaye debe realizarse hasta alcanzar una penetración mínima de 7,62 mm (0,300 pulgadas).

**Nota 12:** Durante el ensaye no debe sobrepasarse la capacidad de carga del anillo. La última anotación corresponderá a la penetración que se obtenga a la carga máxima admisible del anillo.

**8.7** Saque el suelo del molde y determine su humedad considerando la totalidad de la muestra.

## **9.- Presentación de los Resultados.**

**9.1 Curva de Tensión – Penetración.** Calcule las tensiones de penetración en MPa, aproximando a un decimal, para lo cual divida las cargas aplicadas (kgf) por el área de la sección transversal del pistón (cm<sup>2</sup>); luego divida el resultado obtenido por el factor de conversión 10,2.

Trace la curva de cada molde en un mismo gráfico de tensión - penetración. En algunos casos esta curva puede tomar, inicialmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de la superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que esta tangente corta a la abscisa. El valor buscado estará desplazado a la derecha en la misma distancia que hay desde el origen hasta la intersección de la curva corregida con la abscisa ( ver Lámina 8.102.11.B).

**9.2 Razón de Soporte.** Empleando los valores de tensión corregidos tomados de la curva tensión - penetración para 2,54 mm y 5,08 mm de penetración, calcule las razones de soporte para cada una de ellas, dividiendo las tensiones corregidas por las tensiones normales de 6,9 MPa y 10,3 MPa, respectivamente. Cuando en el ensaye no se logre una penetración de 5,08 mm, debe extrapolar la curva hasta dicho valor para calcular la razón de soporte.

Para los suelos del tipo A-1, A-2-4 y A-2-6, la razón de soporte se calcula sólo para 5,08 mm de penetración.

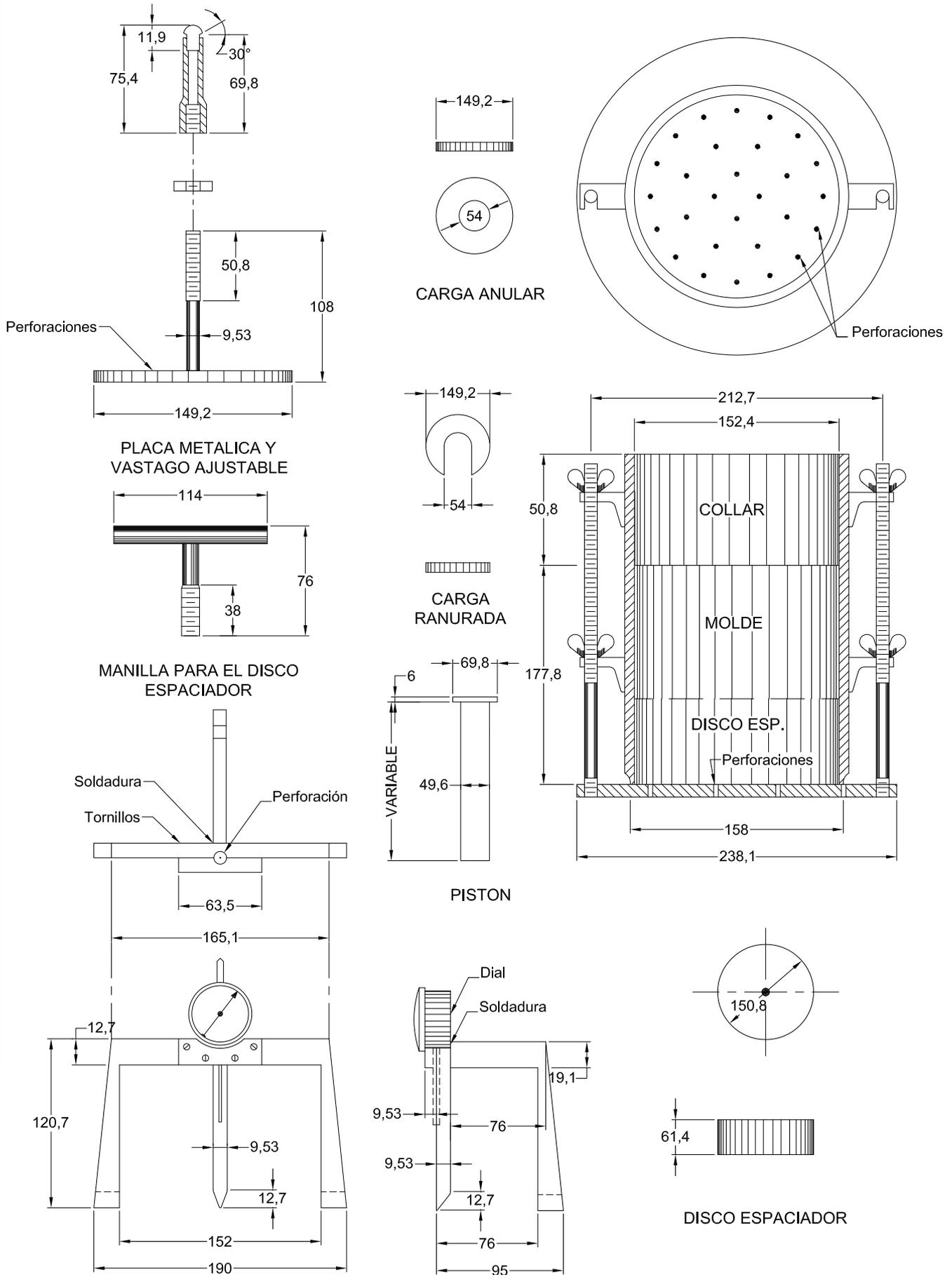
Para los suelos del tipo A-4, A-5, A-6 y A-7, cuando la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm resulte mayor que la correspondiente a 2,54 mm, repita el ensaye. Si el ensaye de chequeo entrega un resultado similar, emplee la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-3, A-2-5 y A-2-7, informe el mayor porcentaje de CBR obtenido entre los correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

**9.3 Razón de Soporte - Densidad Seca.** Usando los datos obtenidos para las distintas probetas, dibuje una curva "Razón de Soporte - Densidad Seca de Compactación", como se muestra en el gráfico de la Lámina 8.102.11.C. Se puede determinar así la Razón de Soporte correspondiente a una densidad seca preestablecida.

**10.- Informe.** El informe deberá incluir la siguiente información:

- a) Referencia al procedimiento empleado para preparar y compactar las probetas.
- b) Acondicionamiento de la muestra (con o sin inmersión).
- c) Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (g/cm<sup>3</sup>).
- d) Densidad seca de la muestra después de la inmersión (g/cm<sup>3</sup>).
- e) Humedad de la muestra:
  - Antes de la compactación (%).
  - Después de la compactación (%).
  - Después de la inmersión (%).
- f) Expansión (referida a la altura inicial del molde) (%).
- g) Razón de Soporte de la muestra (%).
- h) Cualquier información específica relativa al procedimiento de ensaye o al material.
- i) La referencia a este método.



PLACA METALICA Y VASTAGO AJUSTABLE

MANILLA PARA EL DISCO ESPACIADOR

CARGA ANULAR

CARGA RANURADA

PISTON

COLLAR

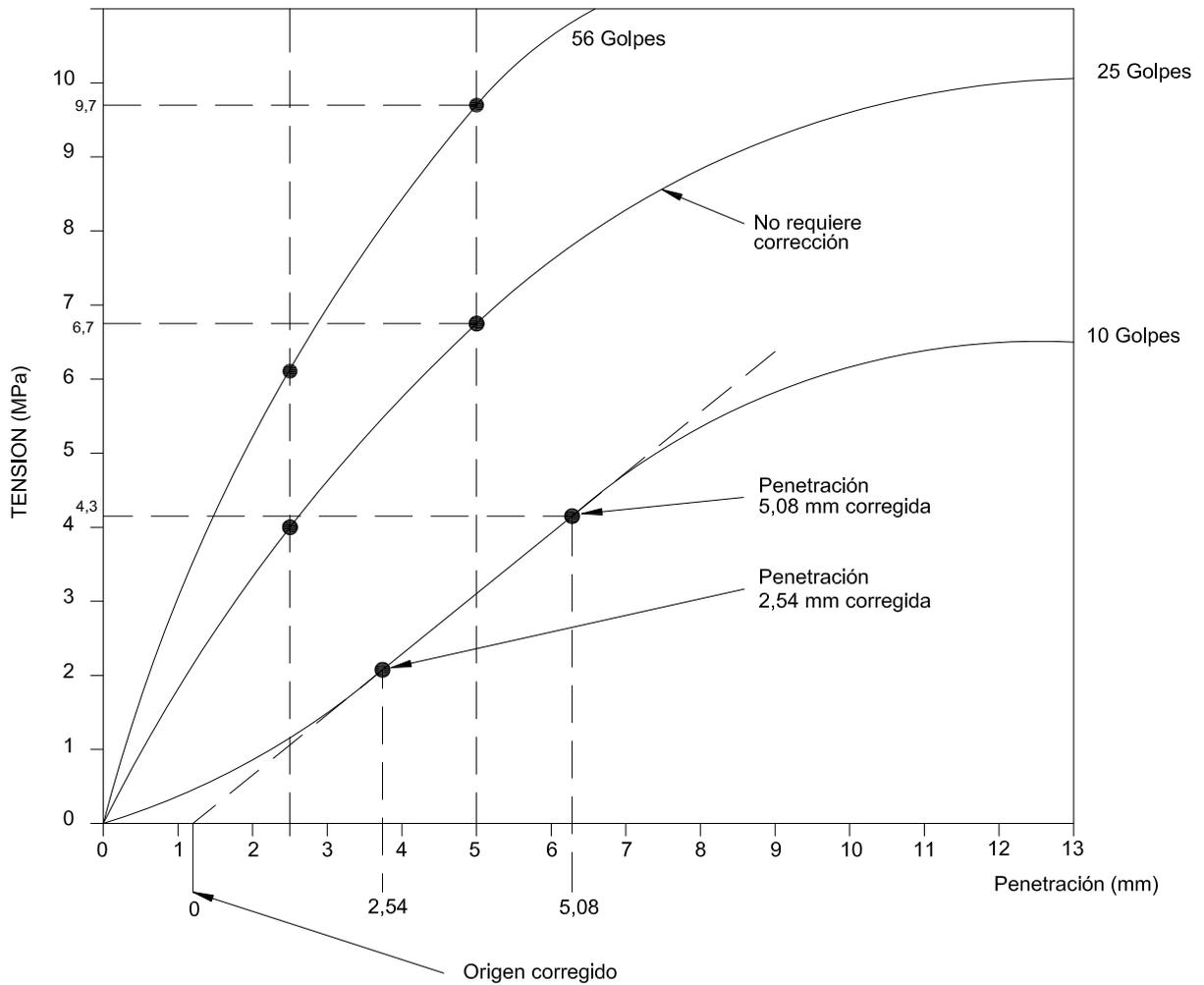
MOLDE

DISCO ESP.

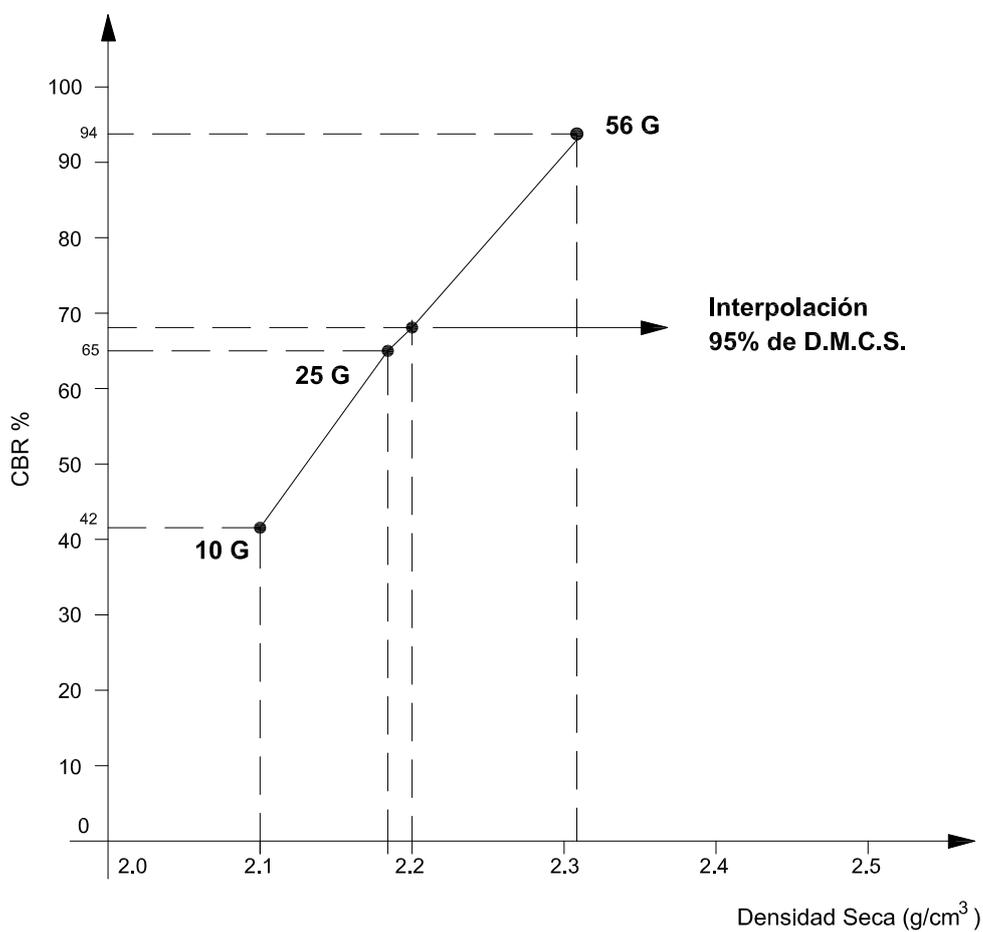
DISCO ESPACIADOR

TRIPODE PARA MEDIR LA EXPANSION

Dimensiones en mm.



56 golpes	2,320 g/cm <sup>3</sup>
25 golpes	2,180 g/cm <sup>3</sup>
10 golpes	2,100 g/cm <sup>3</sup>



D.M.C.S. = 2,310 g/ cm<sup>3</sup>  
 CBR al 95% a D.M.C.S. = 68%

## 8.102.12 SUELOS: METODO DE ENSAYE CON PENETROMETRO DINAMICO DE CONO PORTATIL.

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método de ensaye establece y define los procedimientos a seguir en terreno para utilizar el penetrómetro dinámico de cono portátil, PDCP, para la identificación de materiales inadecuados y caracterizar capas granulares y subrasantes.

Se utiliza en la prospección de suelos en terreno que no sean gravosos, es decir arenas y suelos finos, hasta una profundidad máxima de 1 m, medido desde la cota o superficie de ensaye. Este ensaye debe complementarse con calicatas que permitan obtener muestras de suelos y estratigrafías del terreno.

Sirve para la caracterización geotécnica de suelos de subrasantes, reconocimientos rápidos del terreno, controles de calidad de rellenos y capas estabilizadas durante la construcción, detección de anomalías de capas construidas, evaluación de las capas granulares y subrasantes de pavimentos existentes y detección de suelos con características de materiales homogéneos o inadecuados. Los resultados se correlacionan con parámetros del suelo, tales como: la Capacidad de Soporte de California (CBR), el módulo resiliente ( $M_R$ ), la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) y la densidad relativa de suelos no cohesivos ( $D_r$ ).

### 2.- Equipo.

**2.1 Características Generales.** El Penetrómetro Dinámico de Cono Portátil (PDCP) es un equipo, que permite medir la penetración dinámica por golpes de una masa (martillo), que se deja caer libremente desde una altura constante. La penetración es función de la resistencia al corte de la(s) capa(s) que está(n) siendo traspasada(s) por el ensaye. La energía recibida por el yunque es traspasada a la barra y al cono, que perforan las capas de la estructura del material; es, por lo tanto, una medida de la resistencia al corte del suelo. La Lámina 8.102.12.A(1) muestra un esquema general de las características principales del equipo.

Existen en el país a lo menos 3 tipos de equipos, que se pueden clasificar según el peso del martillo tal como se indica en la Tabla 8.102.12.A. El tipo más empleado es el liviano.

**TABLA 8.102.12.A  
CLASIFICACION DE PENETROMETROS DINAMICOS PORTATILES**

Características\ Clasificación	Liviano	Mediano	Super Pesado
Masa martillo (kg)	8	12	63,5
Altura de caída (cm)	57,5	60	75
$\Phi$ ext. Barra (mm)	16	33,3	41,3 a 44,5
$\Phi$ int. Barra (mm)	-	20,6	28,6 a 31,8
Largo de la barra que penetra (m)	1,0	0,965	1,0 a 3,0
Peso Equipo Completo Aproximado (kg)	15,0		
$\Phi$ cono (mm)	20	35,7	51
Angulo cono (°)	60	60	60
Prof. máx. de auscultación (m)	1,2	8	25

**2.2 Dispositivos.** Como se muestra en la Lámina 8.102.12.A(1), el equipo está compuesto por una barra provista de una punta cónica (cono), atornillada, o embutida con un sistema de bayoneta, a una barra de penetración que se hinca por la energía que recibe el yunque al ser golpeado por el martillo.

- a) Cono. Consiste de una punta cónica, de acero, de 60°, seguida de una extensión cilíndrica y una transición cónica de largo igual al diámetro del cono, entre la extensión cilíndrica y la barra de extensión (Lámina 8.102.12.A(4)). Se une a la barra de penetración, generalmente, por medio de una unión de hilo o de un pasador tipo bayoneta, de manera que no haya desacople; el cono puede ser perdido o retenido para recuperarlo y utilizarlo en ensayes posteriores. En el caso de

reutilizarlo, el desgaste máximo permitido es de 2 mm respecto del diámetro del cono y 1 mm respecto al largo de la punta; la punta cónica no debe presentar deterioros.

- b) Barra de Penetración. Las dimensiones de las barras son las que muestra la Lámina 8.102.12.A(5). En el caso del equipo liviano, materia de este método, se acepta una extensión de 400 mm, por medio de una barra que se une mediante un hilo. Las barras son de acero al carbono con contenidos de entre 0,8 y 1,2%, templado en baños de aceite. Antes y después de cada ensaye verifique que las barras permanezcan rectas y sin deformaciones; para ello hágalas rodar sobre una superficie plana. Los operadores deben ser capaces de corregir cualquier anomalía. Las barras por utilizar deben ser de un mismo diámetro y la deflexión en el punto medio, medida a partir de una línea recta que une los extremos, no debe exceder 0,5 mm por cada metro.
- c) Martillo. El martillo, de acero, debe estar provisto de un orificio central, con un diámetro de 3 a 4 mm mayor que el diámetro de la barra de extensión (Lámina 8.102.12.A(2)). La razón entre el largo y el diámetro del martillo debe estar entre 1 y 2. Debe caer libremente, sin ningún obstáculo que pueda afectar su aceleración o frenado. No se debe dejar caer el martillo con una cuerda o de otra forma que no sea directamente con la mano, ya que impide una caída libre. Asegúrese que golpea al yunque correctamente, es decir, que la energía se transmita lo más limpiamente posible, sin deformar el yunque.
- d) Yunque. El yunque, debe ser de acero; debe fijarse rígidamente a las barras (Lámina 8.102.12.A(3)). Su diámetro no debe ser menor que 100 mm, ni mayor que la mitad del diámetro del martillo. El eje, varilla guía y el martillo no deben presentar deformaciones, aceptándose una máxima de 0,5 mm por metro; al yunque va unido el mango, que también sirve para indicar en la regla, la profundidad que ha alcanzado la penetración.
- e) Regla de Medición. La regla de medición, debe estar graduada en cm y subdividida en mm.
- f) Otros Elementos. También se requiere: una plomada o nivel de burbuja, para medir la verticalidad de las barras, hojas de registros, un reloj cronómetro, un piso o banquillo que permita alcanzar la parte superior y guantes de seguridad para todos los que entren en contacto con el equipo mientras operan.

### 3.- Procedimiento.

**3.1 Estado del Equipo.** Antes de efectuar una serie de ensayes, verifique las condiciones del equipo; compruebe el peso del martillo, las dimensiones del cono, la limpieza general, las longitudes y distancias, en particular la altura de caída del martillo, también, que el roce de éste con la barra sea nulo y que el acople de las barras al cono y al yunque y entre ellas sea el correcto. Antes de cada ensaye, compruebe que las barras no presenten deformaciones y que los hilos se encuentren en buen estado, permitiendo el acople de las barras y del cono.

**3.2 Personal.** Opere el equipo con 3 personas: una encargada de anotar las lecturas obtenidas, otra para observar la verticalidad de las barras, sujetando el penetrómetro y la tercera, levantando y dejando caer el martillo. Eventualmente, también puede ser operado por 2 personas, siempre que se asegure que la verticalidad del instrumento se encuentre dentro de los rangos admisibles.

**3.3 Posición del Equipo.** El equipo debe colocarse en forma vertical; la desviación máxima admisible es de 3° respecto de la vertical. El equipo debe estar firmemente soportado y el cono y las barras deben ser guiados al comienzo del ensaye, de modo de mantener rectas las barras.

**3.4 Preparación de la Superficie.** En el caso de ensayes de capas subyacentes en pavimentos de asfalto u hormigón, extraiga un testigo cilíndrico que alcance las capas granulares o de suelo subrasante, según se requiera.

Para ensayes sobre el terreno natural, remueva la capa superior del suelo vegetal y prepare la superficie hasta dejarla lo más horizontal posible. Cuando el ensaye se efectúe en el interior de una calicata, hágalo sobre una superficie horizontal y registre la profundidad o cota de ensaye.

**3.5 Profundidad de Auscultación.** Se recomienda una profundidad de exploración del orden de 800 mm. Algunas aplicaciones computacionales, utilizando modelos de multicapas no lineales, indican que se podrían alcanzar hasta profundidades entre 800 mm y 1200 mm; por lo anterior, no se recomienda efectuar este ensaye a profundidades mayores que 1,2 m.

**3.6 Procedimiento de Ensaye.** El ensaye, debe ajustarse a los siguientes pasos o etapas:

- a) Fije el instrumento hundiendo el dispositivo con la reglilla en la superficie preparada en el suelo.
- b) Coloque el instrumento en forma vertical, usando un nivel de burbuja o una plomada y sujételo con el dispositivo con la reglilla.
- c) El segundo operador sube el martillo deslizante hasta la marca superior y después lo deja caer libremente sobre el yunque.
- d) El tercer operador registra la penetración lograda en mm para cada golpe, anotando en una planilla como la que muestra la Lámina 8.102.12.B.
- e) Golpeé con el martillo con una frecuencia de 5 a 15 golpes por min, sin pausa.
- f) Si requiere efectuar una detención, gire el cono y mida el torque necesario para el giro, para tener una medida del roce producido entre el sistema de barras y cono, con el suelo perforado.
- g) Si el instrumento se sale de la vertical, no corrija la posición, pues el contacto de la barra con las paredes de la perforación afecta los resultados.
- h) Cuando el ángulo de la inclinación de la barra sea mayor a 3°, provocando que el martillo deslice sobre la barra y no caiga libremente, suspenda y abandone el ensaye, anotando las condiciones cuando ello se produjo.
- i) Si se usa una plomada adosada a la regla de medición, esta no debe desplazarse más de 5 cm de la vertical. Anote la lectura inicial y registre la lectura final después de cada golpe en la ficha correspondiente.
- j) Cuando use cono perdido, asegúrese que el cono no se suelte de la barra prematuramente, al hincar o girar las barras.
- k) Se recomienda despreciar la primera lectura, por razones de acomodo entre el cono y la masa de suelo.

**4.- Resultados.** Los resultados del ensaye PDCP se presentan mediante diferentes gráficos y diagramas característicos.

**4.1 Curva PDCP.** Es la representación de la evolución de la penetración del equipo con la profundidad; en el eje de las ordenadas se indica la profundidad (normalmente hasta 1.000 mm) y en el eje de las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar esas profundidades. La Lámina 8.102.12.C muestra un ejemplo de este gráfico.

**4.2 Índice de Penetración o Número D (DN).** El número D indica el avance de la penetración por golpe y se expresa en mm. Corresponde a la pendiente de la curva PDCP y refleja la penetración del cono por cada golpe. Se calcula dividiendo el avance acumulado, expresado en mm, por el número de golpes dados para lograr esa penetración; se expresa como mm/golpes. Algunos valores típicos representativos de diferentes suelos son los que se indican en la Tabla 8.102.12.B.

**TABLA 8.102.12.B  
VALORES TIPICOS DE D PARA DISTINTOS MATERIALES**

<b>Material</b>	<b>D (mm/golpe)</b>
Base de Piedra Chancada	1,7
Sub-Base de grava	4,0
Subrasante de arcilla	25,5

**4.3 Diagrama Estructural.** Es un gráfico en que en el eje de las ordenadas se representa la profundidad del terreno y en el eje de las abscisas el número D. Cuando el valor D se hace constante, existe uniformidad en las propiedades del suelo; por el contrario, las variaciones implican cambios en las propiedades del material, como por ejemplo, variaciones en el contenido de humedad o la densidad, o bien, un cambio de capas; la variación de propiedades también se puede representar por un cambio de pendientes. La Lámina 8.102.12.D muestra un ejemplo de la representación gráfica de este parámetro.

**4.4 Número Estructural o NE.** Es el número de golpes requerido, para penetrar hasta una profundidad determinada. Así,  $NE_{800}$  representa el número de golpes necesarios para alcanzar hasta 800 mm por debajo de la superficie.

También, puede definirse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$NE_{zi} = \frac{h_i}{D_i}$$

donde:

$NE_{zi}$  : Número estructural de una capa material i.

$h_i$  : Espesor de la capa de material i.

$D_i$  : Índice de penetración de la capa i.

El número estructural para el total del pavimento,  $NE_{zP}$ , es la suma de los  $NE_{zi}$  o el número de golpes del martillo, requerido para penetrar el espesor total del pavimento considerado. Es decir:

$$NE_{zP} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{D_i}$$

**4.5 Curva de Balance Estructural, BEz.** La resistencia a la penetración a distintas profundidades se puede expresar también como un porcentaje del número de golpes necesario para penetrar hasta una profundidad evaluada. Por ejemplo

$$BE_z = \frac{NE_z}{NE_m} \times 100$$

donde:

$BE_z$  : Balance estructural para la profundidad z (%).

$NE_z$  : Número de golpes, requerido para penetrar z.

$NE_m$  : Número de golpes requerido para penetrar la máxima profundidad de exploración.

El valor de  $BE_z$  representa el porcentaje de la capacidad estructural total que aportan los materiales existentes hasta una profundidad z determinada. Por ejemplo, si el  $BE_{100} = 40\%$ , significa que hasta una profundidad de 100 mm el aporte estructural a la resistencia del suelo es de un 40%.

Los valores de  $NE_z$  expresados como un porcentaje del  $NE_m$ , se llevan a un gráfico que representa la curva de Balance Estructural, tal como se muestra en el ejemplo de la Lámina 8.102.12.E.

Es importante hacer notar que como normalmente la capacidad estructural de un pavimento decrece con la profundidad, una variación uniforme (sin discontinuidades) de la  $BE_z$  significa que el pavimento se encuentra en estado de equilibrio estructural.

**4.6 Curva de Balance Estándar, Bz.** Define una función por medio de curvas que describen la situación idealizada (teórica) entre la capacidad estructural y la profundidad, para la estructura de un pavimento. Por ejemplo, para  $B = 0$ , el suelo recibe proporcionalmente todo el número estructural,  $NE_z$ , en toda la profundidad de auscultación.

La expresión matemática para la familia de curvas es la siguiente

$$B_z = \frac{H \times (400 \times B + (100 - B)^2)}{4 \times BH + (100 - B)^2}$$

donde:

B<sub>z</sub> : Número estructural, en porcentaje, del NEz necesario, para penetrar 100% de la profundidad evaluada.

H : La profundidad, en porcentaje, dada como:

$$H = \frac{\text{profundidad (i)}}{\text{profundidad total}} \times 100$$

B: Parámetro geométrico, que corresponde al valor máximo, medido sobre la diagonal que sirve de eje de la simetría de la hipérbola rectangular. Este valor puede ser cualquier entero, normalmente se dan los valores de 60, 0 y -60.

Las curvas de balance estructural sirven para comparar la curva de terreno con la situación teórica y poder clasificar un suelo de acuerdo a la comparación de su curva de balance estructural y la de balance estándar más aproximada. No siempre coinciden con las curvas de balance estructural, tal como muestra el ejemplo de representación gráfica de este parámetro que se muestra en la Lámina 8.102.12.F.

**5.- Relación con el CBR.** Considerando que el parámetro de suelo que más se ha correlacionado con el ensaye de penetración de cono portátil es el CBR, se propone una ecuación de carácter general que correlaciona estas dos variables. La expresión que mejor representa el CBR, según los antecedentes disponibles a la fecha, es :

$$\log \text{CBR} = 2,60 - 1,26 \times (\log D)$$

donde:

D : Índice de penetración (mm/golpe)

CBR : Capacidad de Soporte de California (%)

Cabe señalar, finalmente, que en la literatura existen correlaciones entre los resultados del penetrómetro de cono portátil con otros parámetros del suelo como por ejemplo el Módulo Resiliente, la Compresión no Confinada y la Densidad Relativa, las que no se han incluido en esta norma por considerarse ellas de carácter preliminar.

Contrato :	
Camino :	Rol :
Sector :	
Fecha del ensaye :	
Dm :	Profundidad inicial (mm) : 300
tipo de base :	Tiempo inicio :      Tiempo término

Duración ensaye (min) :				
DATOS		CALCULOS		
Nº Golpes Acum.	Lectura (mm)	Profund. (mm)	D (mm/golpe)	CBR (%)
0	10	(lectura sin cálculos)		
1	25	315	15	13.1
2	30	320	5	52.4
3	45	335	15	13.1
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				

DATOS		CALCULOS		
Nº Golpes Acum.	Lectura (mm)	Profund. (mm)	D (mm/golpe)	CBR (%)
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				

OBSERVACIONES:

NOTA:

1) Duración ensaye = tiempo inicio - tiempo término

2) Golpe 0 corresponde a la lectura inicial

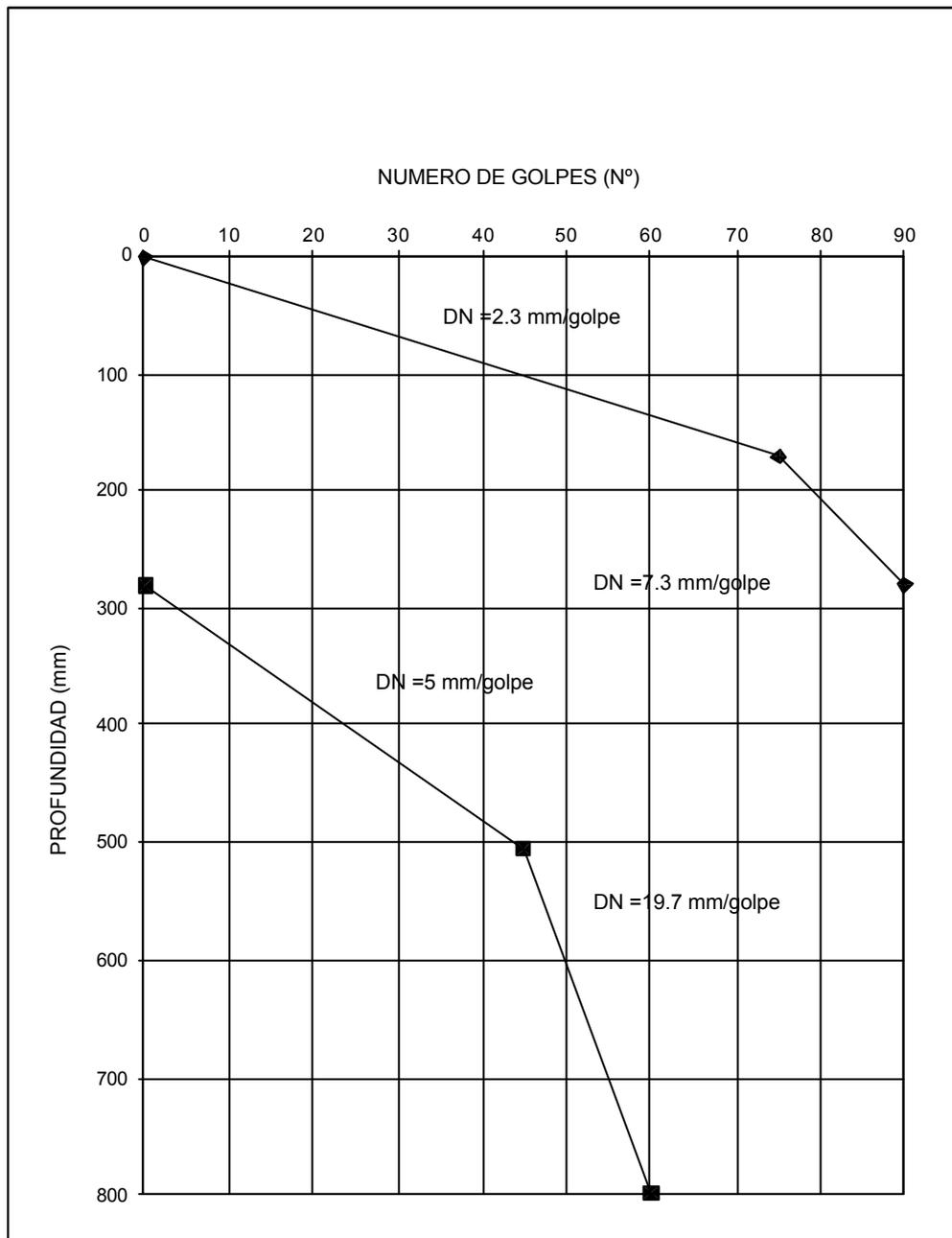
3) Cálculos: Profund. (mm) = Prof. inicial + lectura ( i+1 ) - lectura ( i )      D (mm/golpe) = Lectura ( i+1 ) - Lectura ( i )  
CBR = 398,107 \* (D) ^ -1,26 (Relación de Kleyn)

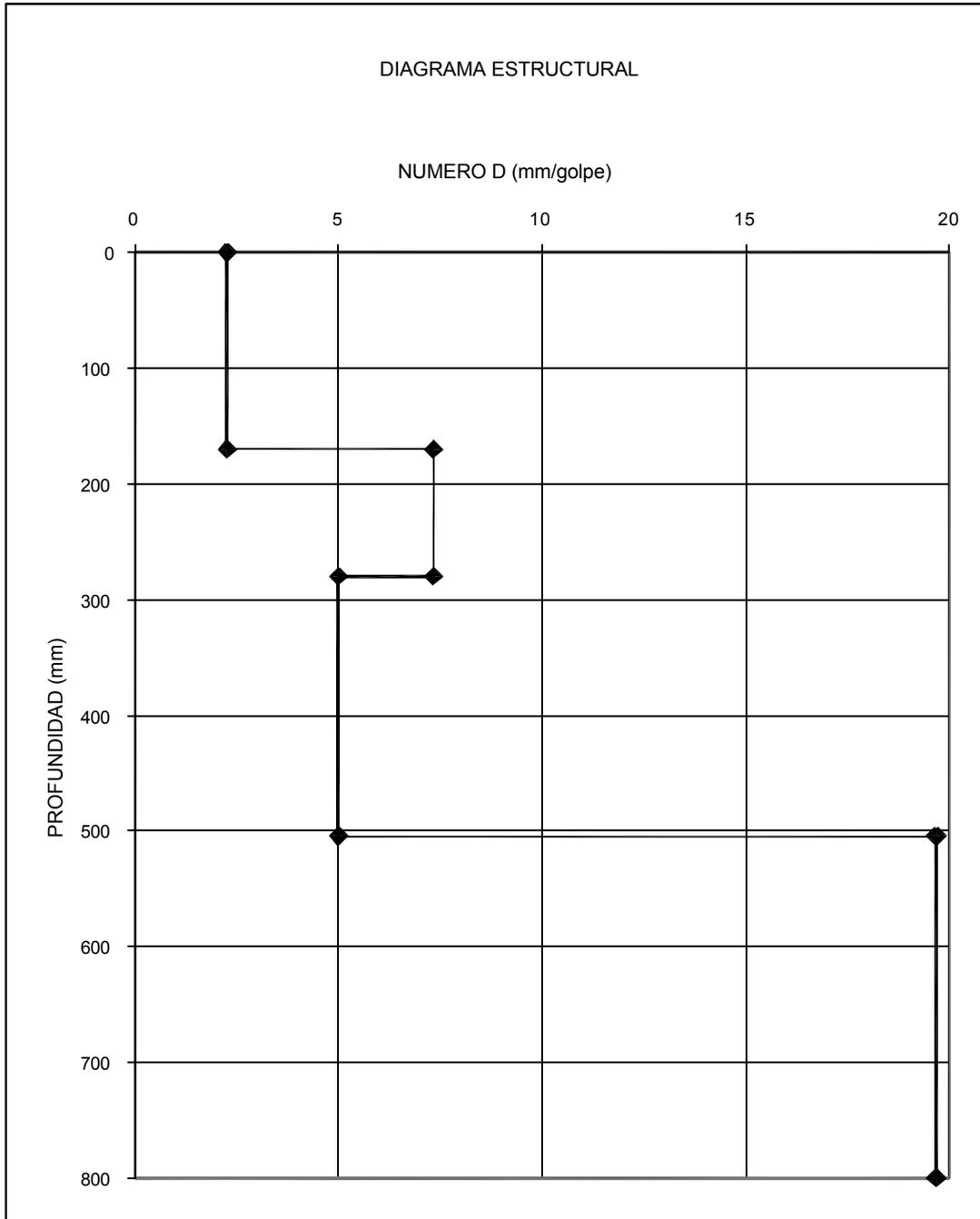
Entidad a cargo del control:

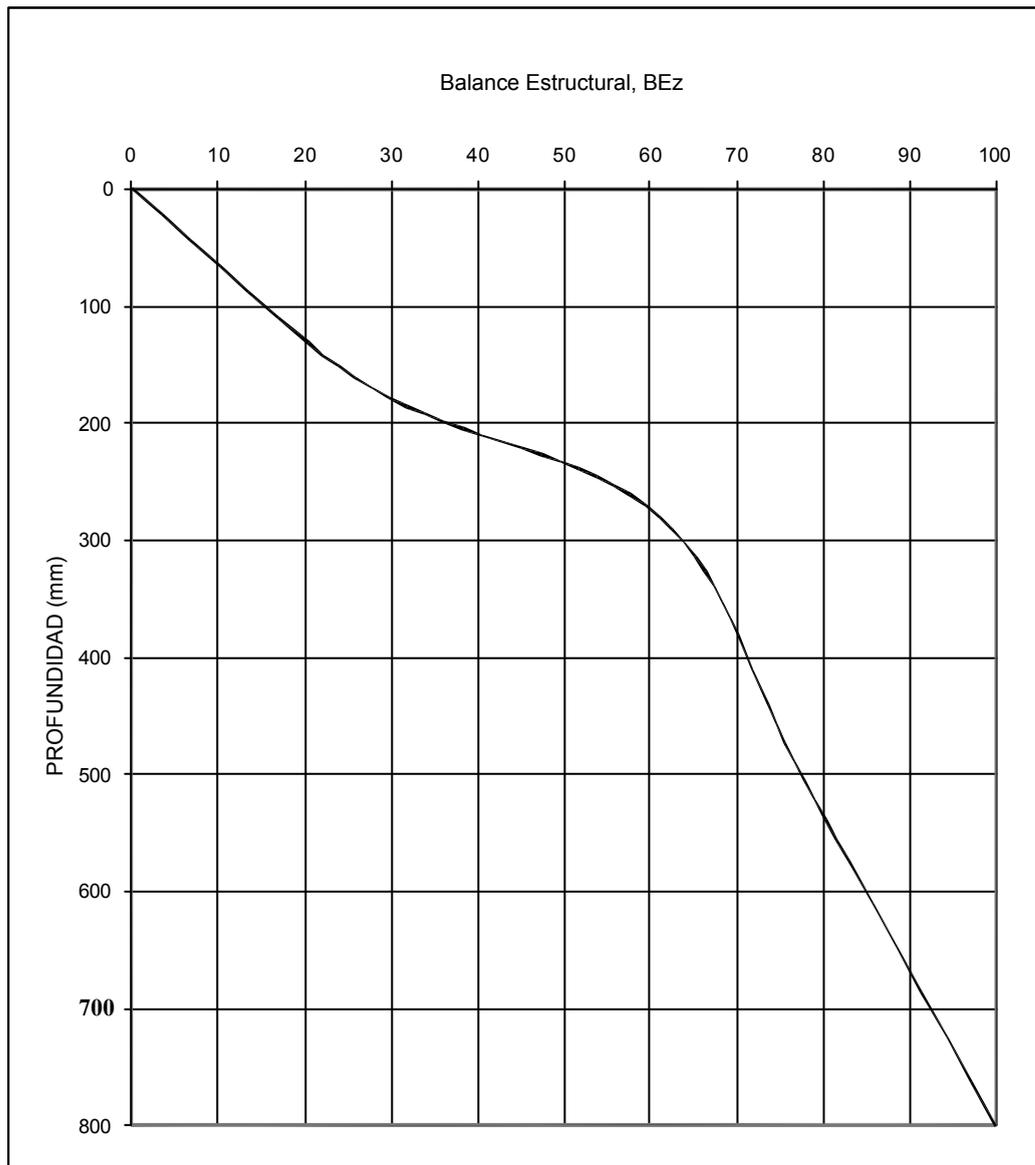
Profesional responsable del control:

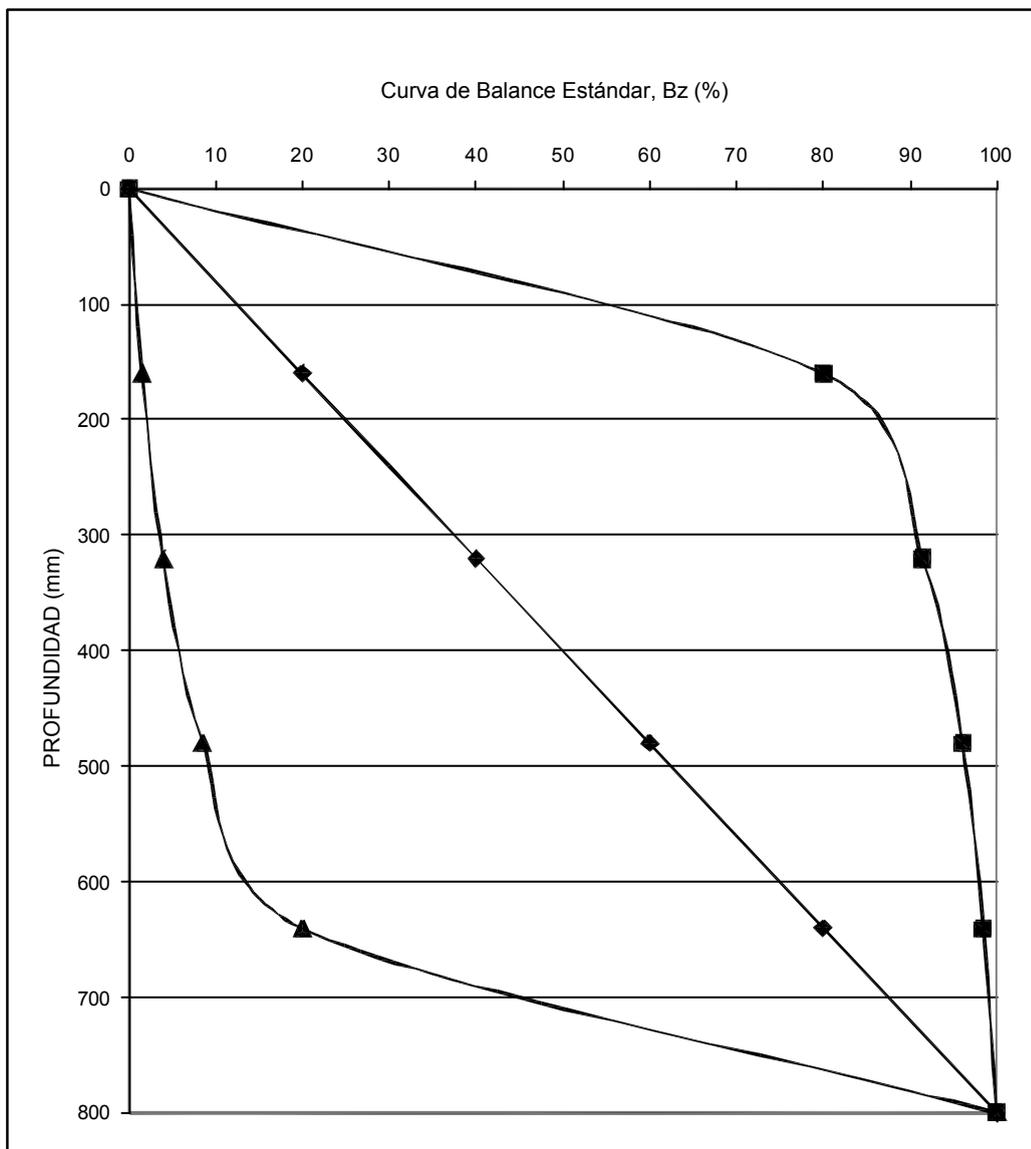
\_\_\_\_\_

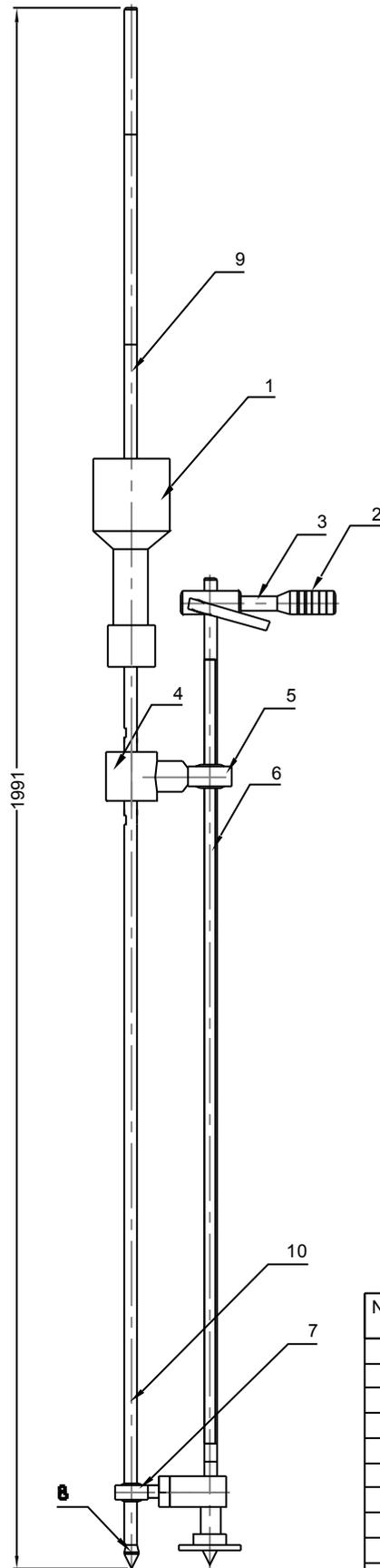
FIRMA







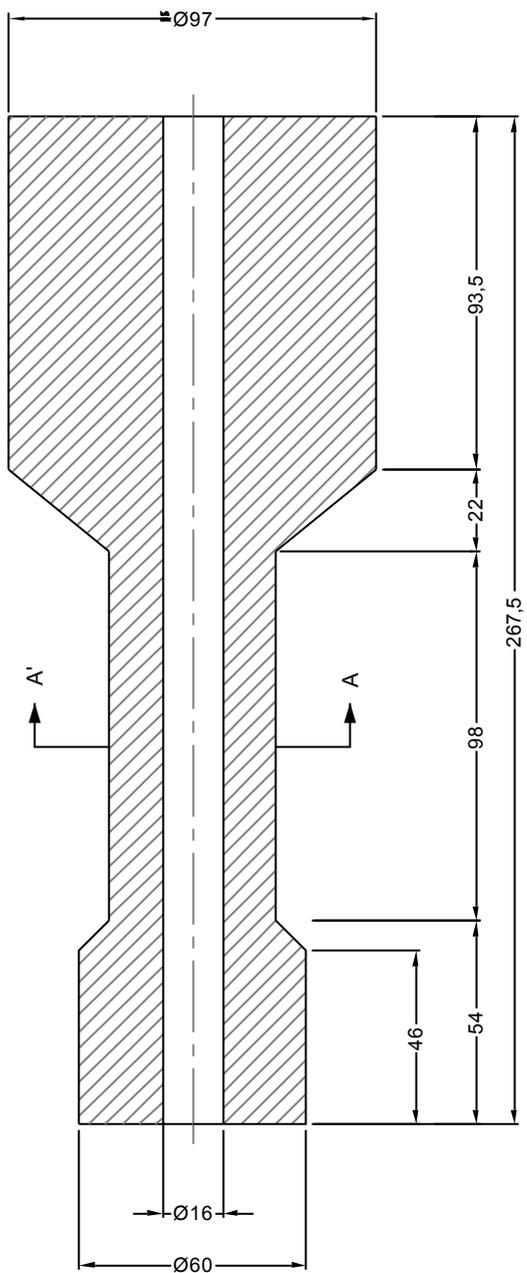




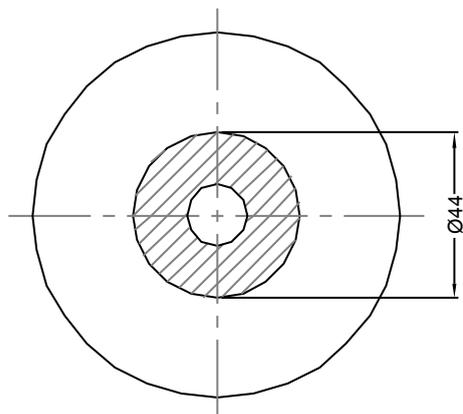
DISEÑO PREFERIDO CON  
TOPE DE PLANCHA

Nº DE LA PIEZA	DESIGNACION	Nº DE PIEZAS	MATERIAL
1	Martillo deslizante	1	Acero corriente
2	Asa	1	Acero inoxidable
3	Brazo con tornillo para fijar el asa	1	Acero inoxidable
4	Yunque	1	Acero corriente
5	Rótula superior deslizante	1	_____
6	Barra de referencia	1	Acero inoxidable
7	Rótula inferior deslizante	1	_____
8	Cono de penetración	1	Acero inoxidable
9	Barra guía del martillo	1	Acero inoxidable
10	Barra de penetración	1	Acero inoxidable

MARTILLO DESLIZANTE

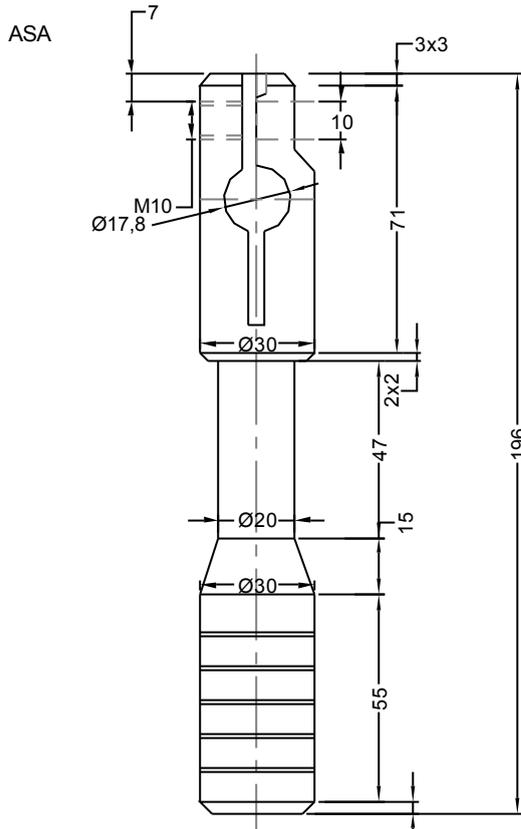


Nota : Peso 8.000 g.  
Ajustar este diámetro para obtener P = 8.000 g.

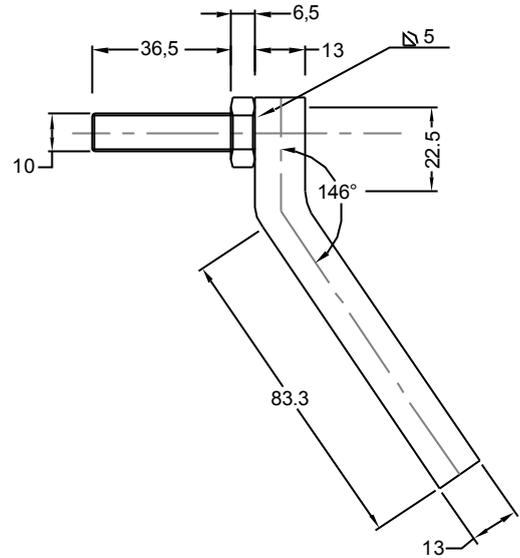


Corte A - A'

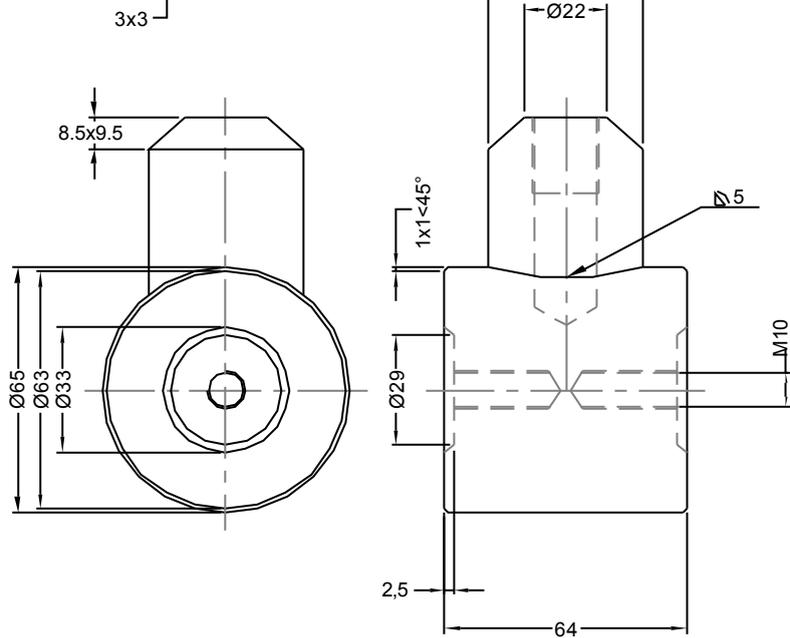
Dimensiones en mm.



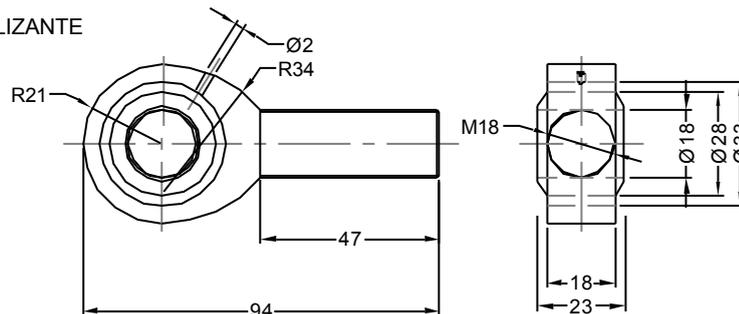
BRAZO C/TORNILLO PARA FIJAR EL ASA



YUNQUE

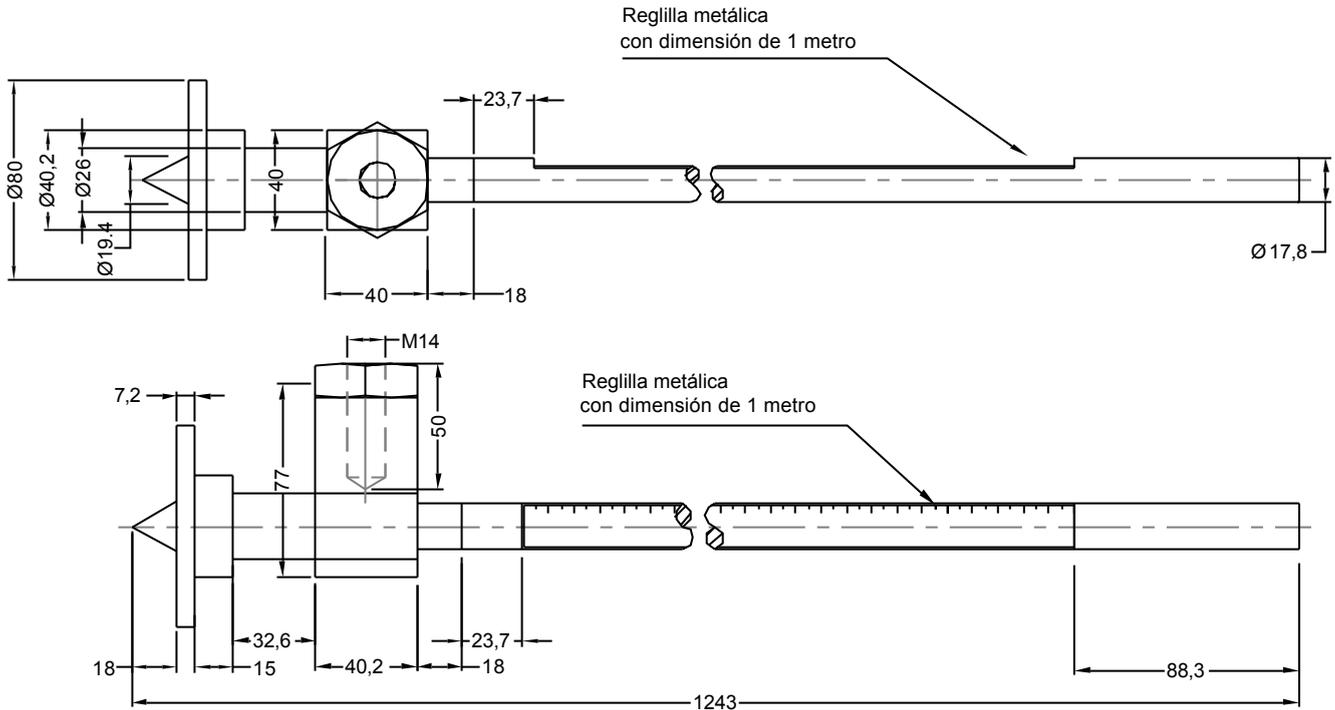


ROTULA SUPERIOR DESLIZANTE

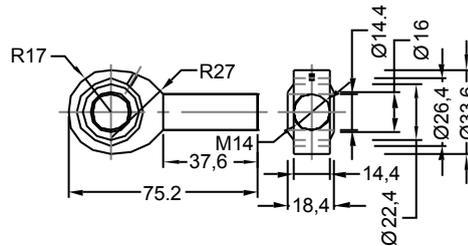


Dimensiones en mm.

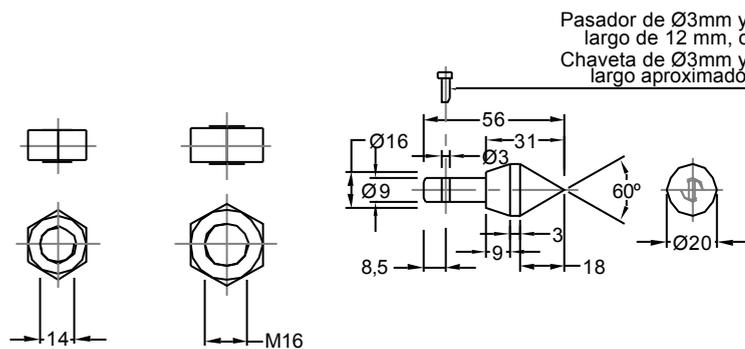
BARRA DE REFERENCIA



RÓTULA INFERIOR DESLIZANTE

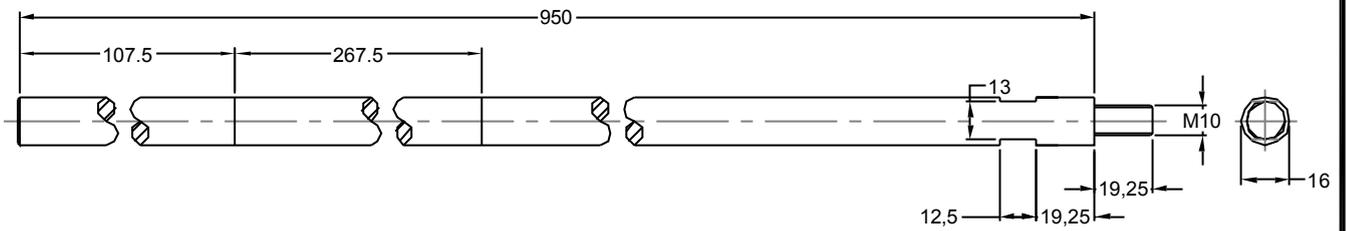


CONO DE PENETRACIÓN

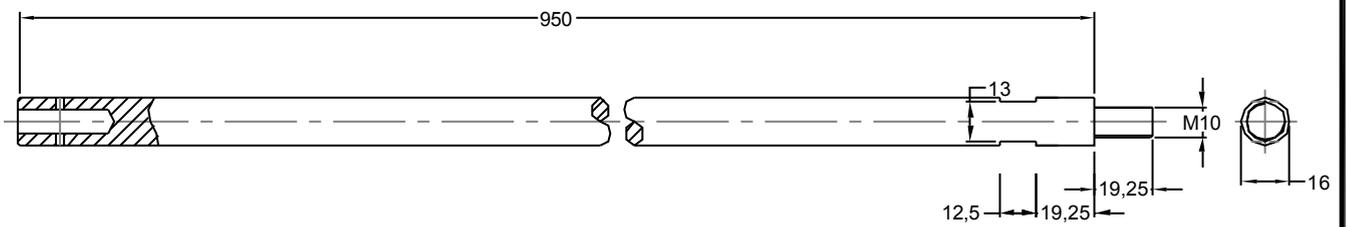


Dimensiones en mm.

BARRA GUIA DEL MARTILLO



BARRA DE PENETRACION



Dimensiones en mm.



### 8.102.13 SUELOS: METODO DE ENSAYE PLACA DE CARGA REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** En este método se trata el procedimiento de ensaye de placa de carga estática repetida sobre subrasantes, capas componentes de pavimento flexible y suelos, tanto en estado natural como compactados, con el objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

\*El Método 8.102.13 es una adaptación de la norma AASHTO T 221 – 66.

#### 2.- Terminología.

**2.1 Deflexión.** El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

**2.2 Deflexión Residual.** La diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

**2.3 Deflexión Elástica.** La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

#### 3.- Equipo.

**3.1 Elementos de Reacción.** Camión o remolque, una combinación de ambos, o un marco anclado a una estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie bajo ensaye. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro por emplear.

**3.2 Conjunto Hidráulico de Carga.** Sistema con dispositivos de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima requerida y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.

**3.3 Placas de Ensaye.** Un juego de placas circulares de acero de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que varíen entre 150 mm y 760 mm. Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberán exceder los 150 mm.

**Nota 1:** Se recomienda un mínimo de 4 placas de diferentes tamaños para ensayos con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto de los neumáticos, que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo, la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.

**3.4 Diales Micrométricos.** Dos o más diales graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada máxima de 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.

**3.5 Viga Porta-Dial.** Sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga deberá estar formada por un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente. Esta deberá tener como mínimo 4,75 m de largo y apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m de la circunferencia de la placa de ensaye o rueda más cercana o soporte. El sistema completo de medición de deflexión deberá protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.

**3.6 Herramientas Varias.** Debe incluirse un nivel de burbuja, para preparar la superficie a ensayar y las herramientas necesarias para operar el equipo.

#### 4.- Procedimiento de Ensaye.

**4.1** Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción. Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal. Ajuste la nivelación de la placa de ensaye con una delgada capa de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra con plástico o papel impermeable el terreno expuesto, hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensaye.

**4.2** Cuando deba realizar un ensaye de carga no confinado a cierta profundidad de la superficie, remueva el material circundante hasta una vez y media el diámetro de la placa, medido desde el borde de la placa, para eliminar sobrecargas y efectos de confinamiento. Para ensayos confinados, el diámetro del área circular de excavación deberá ser el suficiente para permitir acomodar la placa de ensaye seleccionada.

**4.3** Fije un número suficiente de diales micrométricos, ubicados en posiciones que indiquen el movimiento vertical promedio de la placa de ensaye. Cuando use diales, ajústelos cerca de cada extremo de un diámetro de la placa de carga, a 25 mm del borde. Cuando utilice 3 diales, dispóngalos a 120° uno del otro y equidistantes desde la circunferencia de la placa de ensaye. Cada conjunto de lecturas individuales debe promediarse y registrar su valor como lectura de asentamiento promedio.

**4.4** Una vez adecuadamente instalado el equipo, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, asiente la placa de ensaye y el conjunto con una rápida aplicación y descargue la carga necesaria para producir una deflexión no inferior a 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen luego de la descarga, reasiente las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm; nuevamente, cuando los diales se hayan estabilizado, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

**Nota 2.** El uso de diales micrométricos adicionales ubicados sobre la superficie del material por ensayar a media, una, una y media veces el diámetro de la placa de ensaye, desde el borde de ésta, es opcional.

**4.5** Aplique una carga que produzca una deflexión aproximada a 1 mm. Haga funcionar el cronómetro, y mantenga la carga constante hasta que la razón de deflexión sea 0,025 mm por min o menos, durante 3 min consecutivos. Entonces, retire completamente la carga y observe la recuperación hasta que la razón de recuperación sea 0,025 mm por minuto o menos, para 3 min consecutivos. Aplique y retire la misma carga de esta manera seis veces. Registre las lecturas de los diales apoyados sobre la placa a cada min, registre la lectura de los diales ubicados más allá del perímetro de la placa de ensaye, inmediatamente antes de la aplicación e inmediatamente antes de retirar la carga, para cada aplicación. Para asegurar un buen contacto entre el dial y la placa de ensaye u otra superficie sobre el cual ellos se apoyan, dé un breve zumbido al timbre eléctrico instalado en la viga porta dial, 10 s antes de efectuar la lectura.

**4.6** Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 5 mm y proceda como se indica en 4.5.

**4.7** Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 10 mm y proceda como se indica en 4.5.

**4.8** En todos los casos la lectura final deberá cumplir la razón de 0,025 mm por min, o menos, durante 3 min consecutivos.

**4.9** Lea y registre la temperatura del aire desde un termómetro suspendido cerca de la placa de ensaye, en intervalos de media hora.

**5.- Registro de Ensaye.** Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en 4., el informe deberá contener todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensaye, incluyendo las siguientes:

a) Fecha.

- b) Hora de inicio y desarrollo del ensaye.
- c) Lista del personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensaye.
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensaye.

## **6. Cálculo y Trazado de la Curva Carga – Deflexión.**

**6.1** Para cada repetición de carga, determine la deflexión para la que se cumple que la razón de deflexión sea exactamente 0,025 mm por minuto. Este punto de deflexión final puede ser determinado con suficiente precisión a partir de una inspección visual de los datos de deflexión registrados para cada repetición de carga.

**6.2** Corrija la carga, registrada como lectura del manómetro de la gata hidráulica, utilizando las respectivas curvas de calibración de la gata y manómetro empleados.

**6.3** Determine gráficamente el punto cero para corrección de la carga aplicada y deflexión. Esto requiere considerar la cantidad de masa de la gata, de los discos de ensaye empleados, etc., y de la carga corregida de la gata, cuyos diales fueron ajustados en cero al comienzo del ensaye.

**6.4** Dibuje la deflexión corregida, para la cual la razón de deformación es exactamente 0,025 mm por minuto vs. el número de repeticiones de cada carga corregida. Gráficos similares pueden prepararse con la deflexión residual corregida y deflexión elástica y dibujados en función del número de repeticiones de carga corregida.



## 8.102.14 SUELOS: METODO DE ENSAYE DE PLACA DE CARGA NO REPETIDA (SUELOS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES)\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método trata el procedimiento de ensayos de placa de carga estática no repetida sobre subrasantes, capas de pavimento flexibles y suelos, tanto en estado natural como compactados, con objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

\*El Método 8.102.14 es una adaptación de la norma AASHTO T 222 – 81.

### 2.- Terminología.

**2.1 Deflexión.** Descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

**2.2 Deflexión Residual.** Diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

**2.3 Deflexión Elástica.** Recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

### 3.- Equipo.

**3.1 Equipos de Ensaye en Terreno.** El equipo necesario para ensayos en terreno, es el siguiente:

- a) Sistema de reacción, como un camión o remolque o una combinación de ambos; un marco anclado, u otra estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie por ensayar. El peso muerto por emplear será de a lo menos 12 Mg. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de los vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro usada.
- b) Conjunto hidráulico de carga con dispositivo de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima necesaria y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.
- c) Un juego de placas de ensaye circulares de acero, de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que varíen entre 150 y 760 mm (6 a 30"). Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberá exceder los 150 mm. Placas de aleación de aluminio de 40 mm de espesor pueden ser usadas en lugar de las placas de acero.

**Nota 1:** Se recomienda un mínimo de cuatro placas de diferentes tamaños para ensayos con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto del neumáticos y que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.

- d) Tres o más diales micrométricos:, graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada de a lo menos 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.
- e) Una viga porta dial sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga se compone de un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o de un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente, de un largo mínimo de 4,75 m. Debe apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m del borde de la placa de ensaye o rueda más cercana, o soporte. El sistema completo de medición de deflexión debe protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.
- f) Equipos varios, incluyendo un nivel de burbuja para preparar la superficie por ensayar, así como las herramientas necesarias para operar el equipo y cortar una probeta de suelo no perturbado en

un anillo de ensaye de consolidación. Balanzas, hornos y diversas herramientas para hacer determinaciones del contenido de humedad.

### 3.2 Equipos de Ensaye en Laboratorio. Un consolidómetro.

## 4.- Procedimiento de Ensaye en Terreno.

**4.1 Preparación del Area de Ensaye.** Donde deba realizarse un ensaye de carga no confinado, despeje el área de suelo a ser ensayada hasta la cota deseada de la superficie subrasante. El área despejada deberá ser a lo menos el doble del diámetro de la placa para eliminar sobrecargas o efectos de confinamiento. Si la subrasante va a ser construida con material de relleno, construya un terraplén de prueba de por lo menos 0,75 m de altura, usando el mismo material a emplear en el relleno, compactado con el contenido de humedad y a la densidad que se requiera para la construcción. Retire del área a ser ensayada cualquier material suelto y déjela nivelada.; tenga mucho cuidado en no perturbar el suelo en el área de ensaye, especialmente en caso de materiales granulares.

Para ensayos confinados, el diámetro del área circular de excavación deberá ser el suficiente para que permita acomodar la placa de ensaye seleccionada.

Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción. Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal; ajuste el nivel de la placa de ensaye con una capa delgada de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra el terreno expuesto hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensaye con plástico o papel impermeable.

**4.2 Disposición de Elementos de Ensaye.** Apoye la placa soportante de 760 mm de diámetro sobre la arena o yeso; gire y mueva la placa sucesivamente para proporcionar un apoyo uniforme. Centre las placas de 610 mm y 457 mm de diámetro sobre la placa de 760 mm de diámetro y centre la gata hidráulica sobre la placa de 457 mm de diámetro.

Si es necesario suplir, arme un dispositivo (cajón) entre la placa superior y la gata. Si se usa un anillo de acero para medir la carga, colóquelo entre la gata y la rótula, la que a su vez, se apoya contra el dispositivo de reacción de carga. Por razones de seguridad no deben emplearse suples entre la rótula y el dispositivo de reacción. El dispositivo de reacción de carga debe ser lo suficientemente largo de modo que sus soportes queden a lo menos a 2,5 m de la placa soportante. Una viga de acero entre dos camiones cargados proporciona un buen dispositivo de reacción.

Use tres diales micrométricos para medir la deformación del suelo bajo la acción de la carga. Coloque estos micrómetros de modo que sus vástagos queden apoyados sobre la placa de 760 mm de diámetro, a no más de 6 mm del borde exterior y dispuestos a 120° unos de los otros. Asegure los micrómetros a una estructura cuyos soportes estén a lo menos 2 m del borde de la placa de ensaye.

### 4.3 Asentamiento del Equipo. Emplear uno de los siguientes procedimientos iniciales:

- a) El procedimiento de asentamiento N° 1 consiste en apoyar el sistema de carga y la placa soportante mediante la aplicación de una carga de 3,2 kN (7 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea menor que 380 mm o una carga de 6,4 kN (14 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea de 380 mm o más. Deje la carga de apoyo hasta que prácticamente se haya producido la deformación total. Luego tome una lectura en los tres diales micrométricos, los cuales se registran como la lectura "cero"; la carga de apoyo también es considerada como carga "cero". Se puede emplear una carga cíclica, menor a la carga de asentamiento, para asegurar un buen apoyo de los aparatos y de la placa de ensaye.
- b) El procedimiento de asentamiento N° 2 consiste en que después que el equipo haya sido instalado adecuadamente, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, se asienta la placa de ensaye y el conjunto con una rápida aplicación y descarga de una carga suficiente para producir

una deflexión de no menos de 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen, luego de la descarga, se reasientan las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm. Cuando las agujas de los diales se hayan estabilizado nuevamente, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

**4.4 Procedimiento de Carga.** Sin retirar la carga de asentamiento, prosiga con los procedimientos de aplicación de carga indicados en 4.3 a) y b).

- a) En el procedimiento de aplicación de carga N° 1, aplique las cargas a una velocidad moderada en incrementos uniformes. La magnitud de cada incremento de carga será la que permita registrar un número suficiente de puntos de carga - deflexión (no menos de seis), de modo de poder trazar con precisión una curva carga - deflexión. Después que cada incremento de carga ha sido aplicado, mantenga hasta lograr una razón de deflexión de no más de 0,25 mm por minuto, para 3 min consecutivos.

Registre la carga y las lecturas finales para cada incremento de carga; continúe este proceso hasta obtener la deflexión total deseada o hasta que alcance la capacidad de carga del equipo, lo que ocurra primero. En este punto mantenga la carga hasta que el aumento de la deflexión no exceda a 0,025 mm por minuto durante tres minutos consecutivos. Registre la deflexión total, después disminuya la carga hasta el valor empleado para ajustar en cero los diales y mantenga esta carga hasta que la razón de recuperación no exceda 0,025 mm para tres minutos consecutivos. Registre la deflexión a la carga de ajuste "cero".

Promedie cada conjunto de lectura y registre ese valor como la lectura del asentamiento promedio.

- b) En el procedimiento de aplicación de carga N° 2, aplique dos incrementos de carga de 16 kN (35 kPa) en cada incremento, manteniéndola hasta que la razón de deformación sea inferior a 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga. Continúe hasta completar los 32 kN (70 kPa) de carga; calcule la deflexión promedio, determinando el movimiento total entre "cero" y 70 kPa incrementados para cada dial.

**4.5 Módulo de Reacción no Corregido.** Calcule el valor de  $k_u$  (módulo de reacción del suelo no corregido), usando la siguiente fórmula:

$$k_u = \frac{70 \text{ kPa}}{\text{deflexión promedio}}$$

Si el valor de  $k_u$  es menor que 56, el ensaye se considera terminado y la carga puede ser retirada. Si el valor de  $k_u$  fuera 56 o más, aplique incrementos de carga adicionales de 16 kN (35 kPa) hasta que se alcance un total de 96 kN (210 kPa), permitiendo que cada incremento de carga permanezca hasta que la razón de deformación sea menor de 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga.

**4.6 Muestreo de Suelo.** Obtenga una muestra no perturbada del material de fundación para ensayos de laboratorio que determine la corrección por saturación que se debe aplicar al valor del ensaye del terreno. La muestra no perturbada debe ser lo suficientemente grande como para obtener dos probetas para el consolidómetro por lado (por ejemplo, a la misma elevación). Tome la muestra en un recipiente adecuado para sellar y preservar el contenido de humedad hasta que los ensayos de corrección en laboratorio puedan realizarse. Cuando el ensaye de placa sea realizado directamente sobre una subrasante de material cohesivo, obtenga la muestra no perturbada de la fundación a la misma cota a la que se efectúa el ensaye, pero a un costado más bien que debajo de la placa. Cuando el ensaye se ejecuta en un material de base granular que descansa sobre un material cohesivo y cuando el espesor de la capa granular sea menor que 1,90 m, tome la muestra inalterada del material cohesivo en la parte inferior de la capa granular.

**4.7 Temperatura.** Con un termómetro suspendido cerca de las placas de ensaye, lea y registre la temperatura ambiente cada media hora.

**5. Informe.** Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en 4, el informe deberá incluir todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensaye, incluyendo las siguientes:

- a) Fecha.
- b) Hora de inicio y desarrollo del ensaye.
- c) Lista de personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensaye
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensaye.

## **6. Gráfico y Cálculo de la Relación Carga – Deformación.**

**6.1 Curva Carga - Deformación.** Cuando el valor  $k_u$ , calculado en 4.5 sea inferior que 56 MPa/m no es necesario trazar la curva carga - deformación. Sin embargo, cuando el valor  $k_u$  es igual a 56 MPa/m o superior, es necesario trazar la curva carga - deformación y corregirla, debido a efectos tales como asentamiento deficiente de las placas, comportamiento carga - deformación no lineal o falla por corte. La carga unitaria (kPa) sobre la placa se dibuja en función de la deflexión promedio de cada incremento de carga; la deflexión se obtiene de las lecturas de cada dial entre “cero” y el final de cada incremento de carga. Cuando se promedian las tres lecturas de diales, los valores deben ser examinados cuidadosamente para asegurarse que resulta un promedio razonable. Si la relación carga - deformación corresponde a una línea recta, que no pasa por el origen, corrija la curva como muestra la Lámina 8.102.14.A. Generalmente, la curva carga - deformación se aproximará a una línea recta entre las cargas unitarias de 70 y 210 kPa. La corrección consiste en dibujar una línea recta, paralela a la porción recta de la curva trazada y que pase por el origen; se requiere el buen criterio del especialista cuando se corrige la curva carga - deformación. Si la curva no es lineal en toda su extensión, base la corrección de la línea recta en la pendiente promedio de la curva, por medio de a lo menos tres puntos en la región de la curva que tenga menor curvatura.

**6.2 Cálculo del Módulo de Reacción  $k_u$ .** Se puede calcular el módulo de reacción no corregido del suelo  $k_u$  con los datos de terreno usando la fórmula:

$$K_u = \frac{70 \text{ kPa}}{\text{deflexión promedio en mm}}$$

Cuando la curva carga - deformación es innecesaria como se indica en 6.1, la deflexión promedio es el promedio de la deflexión total registrada en cada uno de los tres diales entre el “cero” y el término del incremento de carga. Si se requiere la curva carga - deformación, la deflexión promedio es el valor obtenido de la curva corregida para una carga de 70 kPa.

El valor de  $k_u$  calculado con la fórmula anterior debe ser corregido por flexión de las placas soportantes y por saturación del suelo como se indica en los párrafos que siguen:

**6.3 Corrección por Flexión en las Placas.** Aún cuando las placas soportantes se empleen agrupadas, se presenta cierta flexión que redundo en una mayor deflexión en el centro de la placa que en el borde donde se miden las deflexiones. Puesto que el módulo de reacción es realmente una medida del volumen desplazado bajo la carga, la menor deflexión medida en el borde resulta en un valor de  $k_u$  mayor que el que realmente existe. La magnitud de la flexión de la placa está relacionada solamente con la resistencia del suelo ensayado, por lo que, para un determinado valor de  $k_u$ , la corrección es siempre igual.

Esta corrección ha sido determinada por ensayos y se presenta por la curva en la Lámina 8.102.14.B.

La corrección se efectúa entrando en la Lámina 8.102.14.B con el valor calculado de  $k_u$  en las ordenadas y proyectando horizontalmente hasta la intersección con la curva dibujada. El valor corregido del módulo de reacción del suelo ( $k_u$ ) queda determinado proyectando verticalmente la intersección en la curva y leyendo su valor en las abscisas.

**6.4 Corrección por Saturación del Suelo.** El diseño de pavimento se basa generalmente en el módulo de reacción del suelo saturado. Como no es posible saturar el suelo en terreno previo al ensaye y rara vez éste se encontrará saturado en su estado natural, el valor del ensaye de terreno debe corregirse para estimar el valor si el suelo llegara a estar saturado.

La corrección por saturación no se requiere normalmente cuando se evalúan pavimentos de más de tres años. Los suelos no cohesivos son insensibles a la saturación, de manera que el ensaye de terreno en este tipo de suelos no requiere de la corrección por saturación.

El método de corrección por saturación que habitualmente se aplica, es una adaptación del ensaye de consolidación. El ensaye de corrección debe realizarse con muestras no perturbadas del suelo del sitio del ensaye de terreno. En caso que el ensaye de terreno se ejecute sobre la superficie de una capa de material no cohesivo, pero que descansa sobre un material cohesivo, la corrección por saturación debe determinarse por ensayos con el material cohesivo.

El factor de corrección por saturación es la razón de deformación entre una probeta de consolidación con su contenido de humedad natural y la deformación de una probeta saturada, ambas bajo una presión de 70 kPa. Dos probetas de material inalterado se instalan en la celda del consolidómetro; una se ensaya con el contenido de humedad "in situ" y la otra se satura después de aplicar la carga de apoyo. Ambas probetas se someten a la misma carga de asentamiento, 7 ó 14 kPa, que fue usada en el ensaye de terreno (ver 4.3 a) y b)). Mantenga aplicada la carga de asentamiento sobre la probeta con el contenido de humedad natural hasta que se produzca toda la deformación, en ese momento realice la lectura "cero" del dial de deformación vertical.; sin retirar la carga de asentamiento, aplique una carga adicional de 70 kPa sobre la probeta y permita que se desarrolle la deformación completa; tome la lectura final del dial de deformación vertical.

Deje saturando la otra muestra en el consolidómetro bajo la carga de asentamiento de 7 ó 14 kPa. Una vez que la probeta esté saturada, se registra la lectura "cero", luego sin retirar la carga de asentamiento aplique una carga adicional de 70 kPa; mantenga esta carga sobre la probeta hasta que la deformación se haya completado, tras lo cual registre la lectura final del dial.

En ciertos tipos de suelos, se puede producir un hinchamiento bajo la carga de asentamiento al saturarse. Esto puede producir una extrusión del material por encima del anillo del consolidómetro, de modo que al aplicar la carga de 70 kPa, el material puede fluir sobre el anillo más bien que consolidarse, provocando resultados erróneos. Para prevenirlo, cuando se trabaja con suelos que experimentan hinchamientos o sospechosos de serlos, el anillo del consolidómetro no debe quedar completamente lleno con el suelo; se debe dejar una huelga en la cara superior de la probeta, generalmente 1,5 mm, para permitir el hinchamiento.

Cuando la probeta por saturar se rebaja para permitir el hinchamiento, debe también rebajarse la probeta por ensayar con contenido de humedad natural en igual cantidad, de manera que las alturas de las probetas sean similares al comienzo del ensaye.

La corrección por saturación será aplicada en proporción a la deformación de las dos probetas bajo una carga unitaria de 70 kPa, como sigue:

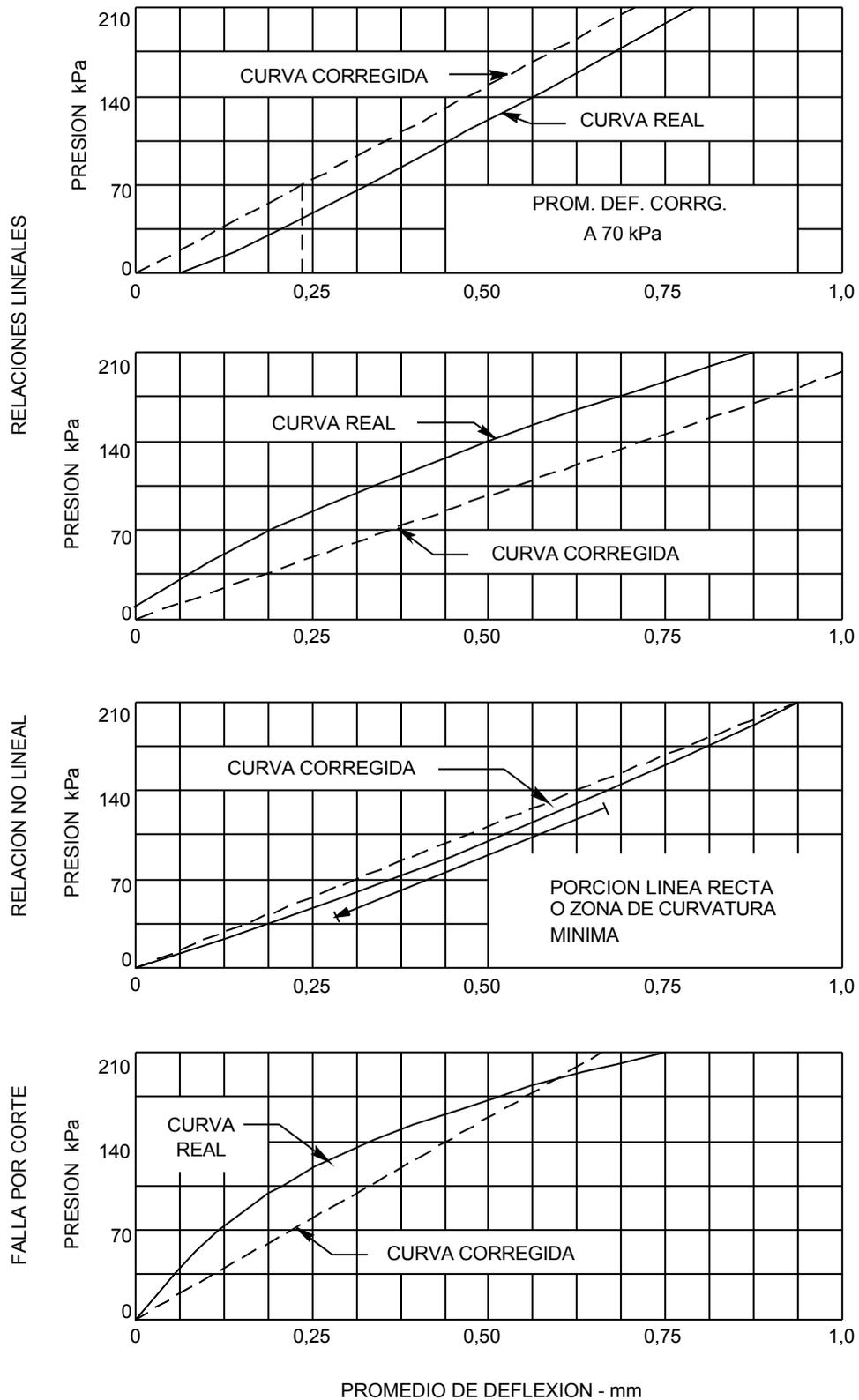
$$k = k_u = \left[ \frac{d}{d_s} + \frac{b}{1905} \left( 1 - \frac{d}{d_s} \right) \right]$$

donde:

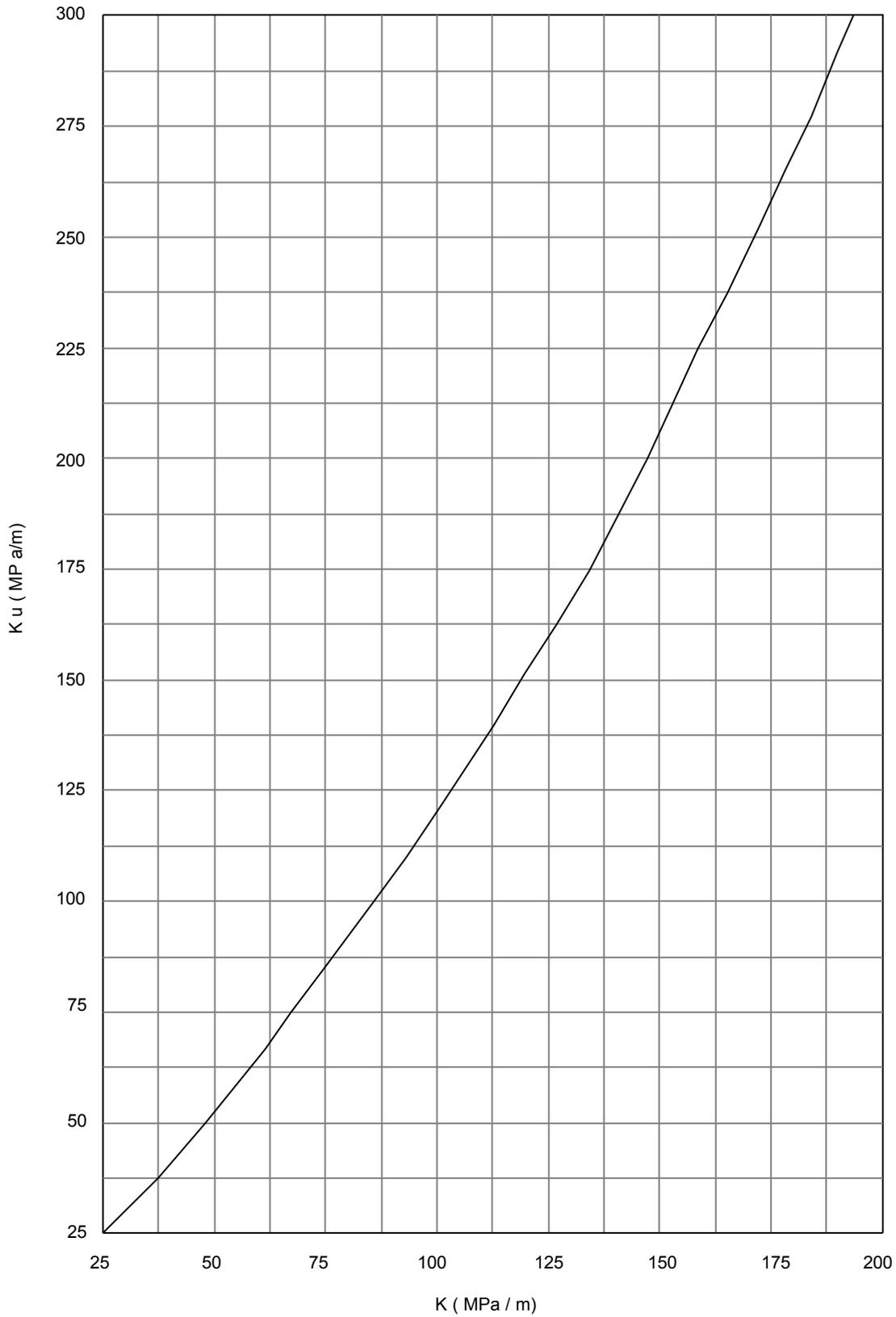
- k : Módulo de reacción del suelo corregido ( MPa/m)
- $k_u$  : Módulo de reacción del suelo no corregido por saturación (MPa/m)
- d : Deformación de una probeta en consolidación con el contenido de humedad de terreno, bajo una carga unitaria de 70 kPa. ( mm.)
- $d_s$  : Deformación de una probeta saturada en consolidación bajo una carga unitaria de 70 kPa. ( mm).
- b : Espesor del material granular (mm).

En ningún caso el valor de  $d/d_s$  a usar en la fórmula anterior debe ser mayor que 1,0. Esta fórmula es aplicable para el cálculo del valor k corregido, haya o no una capa granular. Sin embargo, si el espesor de

dicha capa es igual o mayor a 1,90 m, no es necesario introducir la corrección por saturación del suelo cohesivo subyacente.



Nota: La curva corregida puede estar sobre o bajo la curva real.



## 8.102.15 SUELOS: METODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método tiene por finalidad determinar la cantidad de cemento hidráulico por agregar a materiales granulares para obtener una resistencia específica a una densidad determinada

El método 8.102.15 es aplicable a bases tratadas con cemento (BTC) y gravas tratadas con cemento (GTC). No es aplicable a suelo – cemento ni a bases abiertas ligadas con cemento (BAL).

### 2.- Análisis Previos.

- a) Análisis granulométrico, según Método 8.202.3.
- b) Límites de Consistencia, según Métodos 8.102.3 y 8.102.4.
- c) Densidad aparente, según Método 8.202.19.
- d) Desgaste de Los Angeles, según Método 8.202.11.
- e) Determinación de absorción de agua, de acuerdo con los Métodos 8.202.20 y 8.202.21.

### 3.- Preparación de la Muestra.

**3.1 Fraccionamiento.** Si la muestra cumple con los requisitos de las especificaciones, tales como granulometría, desgaste, etc., proceda a separar el material grueso en las fracciones siguientes:

- Material que pasa el tamiz de 25 mm y queda retenido en el de 20 mm.
- Material que pasa el tamiz de 20 mm y queda retenido en el de 10 mm.
- Material que pasa el tamiz de 10 mm y queda retenido en el de 5 mm.

**3.2 Humedecimiento.** Sumerja en agua, por un periodo de 24 h, cada fracción por separado del material grueso indicada en 3.1; luego retírelas y séquelas superficialmente, mediante un paño absorbente húmedo, de acuerdo al Método 8.202.20. La cantidad de fracción por saturar será la necesaria, de acuerdo a la granulometría del material original, para confeccionar a lo menos 12 probetas.

A la fracción bajo 5 mm se le determina la humedad.

**3.3 Preparación.** Con estas fracciones del material, se reconstituyen porciones de 2.500 g consideradas secas, es decir, con las correcciones correspondientes por absorción de agua del árido grueso y humedad natural del fino, de modo de obtener la granulometría original con las siguientes modificaciones: el porcentaje de material bajo 5 mm permanece constante y el material sobre 25 mm descartado, se reemplaza proporcionalmente de acuerdo a la granulometría original en los tamaños 25 mm – 20 mm; 20 mm – 10 mm y 10 mm – 5 mm.

**3.4 Ejemplo.** Se tiene un material con la granulometría original que se indica:

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa (%)
40	100
25	85
20	77
10	58
5	44

a) Reemplazo	=	100	-	85	=	15%
b) Retenido sobre 5 mm	=	100	-	44	=	56%
c) Retenido entre 25 y 5 mm	=	85	-	44	=	41%

d) Factor de corrección  $= \frac{56}{41} = 1,3659$

- e) % a tomar para confección de probeta:
- entre 25 y 20 mm = ( 85 - 77 ) x 1,3659 = 10,9%
  - entre 20 y 10 mm = ( 77 - 58 ) x 1,3659 = 26,0%
  - entre 10 y 5 mm = ( 58 - 44 ) x 1,3659 = 44,0%

**4. Determinación de la Humedad Óptima y la Densidad Máxima.** Se usa la energía de compactación del método C del Proctor Modificado, Método 8.102.7, vale decir, con molde de 100 mm y pisón de 4,5 kg de peso y 460 mm de caída; se compacta en 5 capas de aproximadamente igual espesor con 25 golpes por capa, escarificando con un punzón el contacto entre capa y capa.

La mezcla por usar debe contener el porcentaje intermedio de cemento del rango que se estime sea el adecuado.

La cantidad de agua requerida para el máximo de compactación, se refiere como humedad óptima referida al peso seco del material, áridos más cemento.

## 5. Confección de Probetas para Determinación de Resistencia a la Compresión.

**5.1 Preparación.** Confeccione las probetas con la misma energía de compactación y humedad óptima indicadas en 4; prepare 3 probetas con el contenido de cemento intermedio, 3 con 1% más de cemento y otras 3 con 1% menos que el utilizado en la determinación de la humedad óptima.

Prepare la mezcla para estas probetas en la proporción indicada en 3, mezclando íntimamente el material con el porcentaje de cemento y luego añada la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima.

Después del mezclado, cubra inmediatamente la paila para evitar pérdidas de humedad y deje reposar durante 30 min antes de compactar las probetas.

**5.2 Pesada.** Pese las probetas con molde, previamente tarado, para obtener su densidad.

**5.3 Rotulado.** Cada probeta debe acompañarse con un rótulo en que figuren antecedentes como: contrato, fecha de confección, número correlativo de la probeta en la serie, porcentaje de cemento empleado y su clase y grado.

**6.- Curado de las Probetas.** Inmediatamente confeccionadas las probetas, protéjalas de la pérdida de humedad con un polietileno, hasta que se coloquen en cámara húmeda, lo más rápidamente posible. De no contar con cámara, cúrelas en arena húmeda casi saturada.

Mantenga el curado por 6 días y a continuación sumérjalas en agua por 24 h para completar los 7 días antes de ensayarlas a compresión.

**7.- Ensaye de Compresión.** Seque superficialmente las probetas; si éstas no tienen sus caras planas y lisas es necesario refrentarlas con yeso colocado en un vidrio cubierto con una película de grasa.

Después ensaye a la compresión en una máquina de ensaye, a una velocidad de elevación de 1,27 mm/min.

Si se usa una máquina hidráulica, aplique la carga a una velocidad comprendida entre 1,12 kN/s y 2,8 kN/s. Lo ideal es que para una probeta de 100 mm de diámetro se alcance una carga total de 9,8 kN en 0,1 min (1.000 kgf en 5 s).

**8.- Fórmula de Trabajo.** Informe los resultados incluyendo graduación usada, resistencia a la compresión, humedad, densidad seca y contenido, clase y grado de cemento.

La fórmula de trabajo, deberá contemplar la banda de trabajo con las siguientes tolerancias: sobre 5 mm  $\pm$  5%, entre 5 y 0,5 mm  $\pm$  4% y bajo 0,5 mm  $\pm$  2%.

Densidad de diseño, igual a la óptima.

Contenido de cemento hidráulico (Nota 1), que corresponda a una resistencia media de las probetas igual a 1,25 veces la resistencia especificada a 7 días y determinada a la densidad requerida en el proyecto.

**Nota 1:** Se puede bajar la dosis si durante la ejecución de la obra se logra un coeficiente de variación adecuado y resistencia mayor a 1,2 veces la resistencia especificada.



## 8.102.16 SUELOS: METODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** En este método se entregan los procedimientos para el control de las bases y gravas tratadas con cemento empleadas en las obras viales y diseñadas de acuerdo con el Método 8.102.15.

### 2.- Mezclas en Planta.

**2.1 Control de Mezclado.** Antes de comenzar la confección de la mezcla, se debe contar con 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según Método 8.102.15.

Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación; en caso contrario proceda a verificar la dosificación para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han variado significativamente.

La humedad del material que entra a la planta no deberá ser superior a 60% de la óptima. El tiempo de revoltura es de 90 s por carga si se usa hormigonera en vez de una planta estabilizadora.

Controle todos estos requerimientos junto con el chequeo diario de la calibración de la planta.

**2.2 Tiempo de Operación.** Controle el tiempo de operación desde el momento en que la mezcla fresca sale de la planta y durante todo el tiempo que dura el proceso de compactación. Las diferentes operaciones no deberán exceder los siguientes límites:

- Tiempo entre la adición del agua hasta el inicio de la compactación: máx. 2 h
- Tiempo entre la adición del agua hasta el término de la compactación: máx. 3 h

Ejecute este control por lo menos dos veces por jornada.

### 2.3 Control de Colocación

**a) Resistencia.** En cada jornada tome por lo menos una muestra de la mezcla fresca, inmediatamente antes de comenzar la compactación inicial, conformada por 3 probetas confeccionadas como sigue:

- Obtenga mezcla fresca representativa y protéjala de pérdidas de humedad, colocándola en una paila grande y cubriéndola de inmediato.
- Inmediatamente después de llevar la mezcla al punto de fabricación de las probetas, revuélvala y pásela por el tamiz 25 mm, descartando el material retenido en él.
- Obtenga la humedad de la mezcla por secado directo, tomando como mínimo 1.000 g.
- Forme la probeta empleando el molde de 100 mm, aceitado y con collar ajustado, depositando la mezcla en 5 capas aproximadamente iguales; compacte cada capa con 25 golpes con pisón de 4,5 kg, y altura de caída de 460 mm, uniformemente distribuidos; escarifique antes de colocar cada capa.
- Inmediatamente de confeccionada las probetas, péselas y guárdelas sin desmoldar en una caja de madera cerrada que tenga en su interior una capa de 2,5 cm de aserrín o arena húmeda. Después de aproximadamente 18 horas, llévelas al laboratorio, desmóldelas y sométalas al curado final en cámara húmeda o bajo arena casi saturada de agua, hasta completar 6 días. A continuación, déjelas 24 h sumergidas en agua antes de ensayarlas a compresión. Efectúe este ensaye aplicando la carga a una velocidad de 1,27 mm/min o velocidad de carga entre 1,12 kN/s a 2,8 kN/s.
- Los resultados de la resistencia a la compresión deben cumplir con los criterios de aceptación del proyecto.

**b) Compactación.** Una vez terminada la compactación final, controle el espesor y la compactación, de acuerdo con los Métodos 8.102.9 y/o 8.502.1. El porcentaje de compactación deberá ser igual o superior a 95% de la densidad de diseño determinada según Método 8.102.15. Para la capa

inmediatamente bajo la capa de rodadura, el mínimo será de 98% de la densidad de diseño. Los espesores compactados por capa pueden fluctuar entre 12 y 24 cm. Esta determinación se efectuará cada 75 m, si la base tratada se ejecuta por media faja y cada 50 m, si se construye a faja completa.

### 3.- Mezclas en Sitio.

**3.1 Control de Mezclado.** Antes de comenzar la confección de la mezcla se debe contar con 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según Método 8.102.15.

Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación, en caso contrario, proceda a verificar la dosificación para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han variado significativamente.

Controle los cordones de áridos en cuanto a calidad, cantidad y uniformidad. Estos deben ser confeccionados mediante cerchas.

La humedad del cordón de árido inmediatamente antes de incorporado el cemento, no deberá ser superior que el 60% de la óptima. El cemento debe incorporarse en una camada de un ancho tal que el espesor resultante sea inferior a 0,40 m sueltos. Cuando se está construyendo una base tratada nivelante, las longitudes y anchos de la camada deberán ser uniformes, con una tolerancia máxima de  $\pm 0,10$  m. Cuando se trate de una base de espesor uniforme, la tolerancia se referirá al espesor suelto y será de  $\pm 0,05$  m.

El cemento deberá agregarse cubriendo, con un espesor uniforme, todo el ancho y longitud de la camada para, inmediatamente después, comenzar el mezclado.

Controle la uniformidad de la mezcla árido - cemento mediante zanjas que corten de lado a lado la camada con un ancho igual al de la pala y verifique visualmente la uniformidad en las paredes laterales de esa zanja.

El agua deberá agregarse como mínimo en 3 parcialidades aproximadamente iguales; entre unas y otras deberá efectuarse un premezclado del agua con la parcialidad correspondiente del material. La mezcla se completará cuando se haya incorporado toda el agua. Terminado el mezclado controle nuevamente la uniformidad.

**3.2 Tiempo de Operación.** Se deberán controlar los tiempos de homogeneización del cemento, la revoltura y la compactación; éstos no deberán exceder los siguientes límites:

- Tiempo desde que se incorpora el cemento a homogeneización total : máx. 2 h
- Tiempo desde adición de agua a compactación inicial : máx. 2 h
- Tiempo desde adición de agua a término de la compactación : máx. 3 h

### 3.3 Control de Colocación.

- a) Resistencia. Tome una muestra de la mezcla fresca inmediatamente antes de comenzar la compactación y confeccione 3 probetas por cordón según 2.3 a)
- b) Compactación. Proceda según lo indicado en 2.3 b)

**4. Curado.** Inmediatamente de terminada la compactación procede efectuar el curado mediante emulsión diluida 1/1 a razón de 1,25 kg/m<sup>2</sup>, RC – 250 a razón de 1,0 kg/m<sup>2</sup> o polietileno. Si se efectúa por el método del polietileno debe cuidarse que éste quede convenientemente traslapado y se mantenga en contacto directo en toda la superficie de la base, de modo que no quede aire atrapado entre polietileno y base; para ello, es necesario cubrirlo con una delgada capa de arena o suelo. Este curado debe mantenerse como mínimo durante 7 días.

No permita transitar la base durante el período de curado, salvo por el tránsito de construcción, que puede hacerlo después de las 72 h de terminada la compactación.

### **8.102.17 SUELOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACION EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método permite determinar el porcentaje de cemento de bases tratadas con cemento, gravas tratadas con cemento y suelos cemento, en estado fresco. El ensaye se basa en un proceso de titulación química, empleando para tal efecto dos métodos alternativos que dependen de las características de los agregados.

- Titulación ácido - base, que se utiliza cuando los agregados no reaccionan con ácido clorhídrico.
- Método de neutralización, para el caso que los agregados presenten reacción con ácido clorhídrico.

#### **2.- Aparatos.**

- a) 1 bureta para titulación, de 100 ml.
- b) 1 pedestal con abrazadera para sujeción de la bureta.
- c) 1 pipeta de 100 ml.
- d) 4 matraces de 200 ml.
- e) 8 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- f) 8 cubetas plásticas de 500 ml de capacidad mínima.
- g) 8 recipientes de plásticos de 2 l de capacidad.
- h) 3 bidones de plástico de 20 l de capacidad, equipados con sifones, neopreno, abrazaderas, etc., para contener soluciones ácidas, básicas y agua.
- i) 8 agitadores de acero inoxidable.
- j) 1 tamiz de 10 mm de abertura y 300 mm de diámetro.
- k) 1 tamiz de 40 mm de abertura y 300 mm de diámetro.
- l) 1 balanza de 5 kg de capacidad, graduada al gramo.
- m) 1 balanza de torsión de 500 g de capacidad graduada a la décima de gramo.
- n) 1 balanza de capacidad superior a 1.000 g y graduada a la décima de gramo.
- o) 1 cronómetro.
- p) Vasos de precipitado.

#### **3.- Reactivos y Materiales.**

- a) Acido clorhídrico (aprox. 3 N).
- b) Hidróxido de Sodio (aprox. 1 N).
- c) Indicador de fenoftaleina (solución al 1%).
- d) Arena normal.

**4. Validez del Método.** Minerales tales como caliza, calcita, dolomita u otros, que eventualmente pudieran contener los agregados, reaccionan con el ácido clorhídrico, invalidando eventualmente alguno de los métodos que se describen. Por tal motivo, haga un análisis previo para determinar el método adecuado.

Aplice el método ácido - base (5) tanto a muestras de material sin cemento como a muestras de arena normal. Si cualquiera de los ensayes de las muestras sin cemento requiere de una cantidad de hidróxido de sodio mayor en 6 ml o más de la cantidad requerida para la arena patrón, use el método de Neutralización; si la diferencia es menor que 6 ml, aplique el Método Acido - Base.

#### **5.- Método 1, Titulación Acido – Base.**

**5.1 Resumen del Método.** Determine el contenido de cemento, basándose en la neutralización de éste mediante ácido clorhídrico y la cuantificación posterior del exceso de ácido.

El residuo del exceso de ácido, medido por titulación con un álcali, es inversamente proporcional a la cantidad de cemento contenido en la muestra, propiedad que se aprovecha para deducir el porcentaje de cemento presente en la muestra de material tratado.

Este procedimiento no debe usarse cuando el ácido reacciona con los agregados.

## 5.2 Procedimiento de Ensaye.

- a) Extraiga las muestras de base tratada con cemento en terreno de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 2 y enumérelas de 1 a 8; cada muestra deberá tener un peso mínimo de 3 kg. Determine la masa de cada una aproximando al gramo.
- b) Remueva y elimine aquellas partículas retenidas en el tamiz 40 mm. Separe el material resultante en el tamiz 10 mm y determine el porcentaje que pasa en dicho tamiz con respecto a la masa total obtenida en 5.2 a).
- c) Extraiga una muestra de 300 g compuesta por una fracción sobre 10 mm y otra bajo 10 mm de acuerdo al porcentaje determinado en 5.2 b). Coloque cada muestra en un recipiente de plástico y alinéela a lo largo del mesón de trabajo. Controle y verifique que el tiempo transcurrido entre el mezclado de la base tratada en terreno y el momento de iniciar el ensaye no varíe en más de 15 min del tiempo de preparación de muestras considerado en la determinación de la curva patrón (ver 5.3).
- d) Mida por cada muestra, 200 ml de HCl (3 N) usando un matraz aforado. Vierta el ácido clorhídrico en un matraz Erlenmeyer y colóquelo detrás de cada recipiente con muestra. Mida por cada muestra 400 ml de agua potable; viértala en una cubeta plástica y colóquela detrás de cada Erlenmeyer con ácido. Agregue 200 ml de ácido a cada una de las muestras y revuelva durante 45 s. Adicione el ácido comenzando desde la muestra N° 1, revuelva y agite las muestras nuevamente durante 45 s, a los 6 y 12 min después de adicionado el ácido.

A los 18 min de iniciado el proceso, agregue 400 ml de agua de la respectiva cubeta plástica a cada una de las muestras y, de acuerdo al orden de trabajo ya establecido, agite la mezcla durante 45 s en cada ocasión.

- e) Deje decantar las muestras durante 30 minutos, tome con una pipeta 100 ml del residuo ácido de la primera muestra y deposítelo en un matraz Erlenmeyer limpio. Repita la operación con las otras muestras sucesivamente cada 45 segundos. Agregue dos gotarios completos (aprox. 40 gotas) de la solución de fenolftaleína a cada matraz Erlenmeyer.
- f) Titule la solución de cada matraz agregando hidróxido de sodio de la solución preparada según Anexo 1, mediante una bureta hasta obtener una tonalidad roja oscura, de manera que el color no cambie al agitar el matraz durante 1 min. Al dejar en reposo durante unos minutos el líquido debe permanecer rojo. Anote la cantidad agregada de NaOH de la bureta, aproximando a 0,2 ml.
- g) En base a los resultados de la titulación y usando la curva patrón (ver 5.3), determine el porcentaje de cemento de cada muestra.

## 5.3 Determinación de la Curva Patrón.

- a) La curva patrón establece la relación entre la cantidad de hidróxido de sodio usada en la titulación y el porcentaje de cemento de una muestra, para un tipo particular de ácido, cemento y agua. Para establecer la curva se necesitan dos puntos; uno, deducido sobre la base de dos análisis independientes con 5% de cemento y el otro, sobre la base de dos ensayos en muestras sin cemento.
- b) Procedimiento
  - Determine el porcentaje de humedad, respecto al material más cemento, representativo de terreno para la BTC, a partir de muestras tomadas en el camino después del mezclado de agregados y cemento.
  - Usando la Tabla 8.102.17.A del Anexo 3, seleccione el peso del agregado correspondiente a un 5% de cemento y a la humedad determinada anteriormente. Si la muestra de base se encuentra húmeda, haga las correcciones correspondientes.
  - De los antecedentes granulométricos de terreno determine el valor representativo promedio del material que pasa por el tamiz 10 mm, porcentaje que será considerado en la confección de las probetas. Elimine la fracción retenida en el tamiz de 40 mm y después corte el material en dos fracciones usando el tamiz de 10 mm. Mediante los valores previamente obtenidos en este procedimiento, confeccione dos muestras que cumplan con las condiciones en él establecidas.

- Vacíe ambas muestras (agregado más cemento) a sendos recipientes plásticos de 2 l de capacidad y mézclelos en seco con una varilla de acero inoxidable. Agregue la cantidad de agua indicada en la Tabla 8.102.17.A del Anexo 3 y revuelva hasta homogeneizar la mezcla.
- Para simular las condiciones de terreno, deje la muestra en el recipiente cubierto con un trozo de plástico por un período de tiempo similar al requerido para obtener la muestra de terreno, transpórtela al laboratorio y prepárela para el ensaye. Normalmente este período no debe ser menor que 30 min ni mayor que 90 min. Continúe con la determinación basándose en el procedimiento descrito en 5.2.
- Proceda a continuación con las muestras sin cemento, determinando de la Tabla 8.102.17.B del Anexo 3, en base a la humedad ya obtenida, las cantidades de agregado seco y agua. Con los pesos obtenidos confeccione dos muestras sin cemento.
- Vacíe los agregados y el agua de ambas muestras en sendos recipientes plásticos de 2 l cada uno, mezcle, deje en reposo durante el tiempo más arriba especificado y proceda de acuerdo a 5.2.
- Finalmente, confeccione un gráfico similar al mostrado en la Lámina 8.102.17.A3.A Figura 2 del Anexo 3, en base a las determinaciones con y sin cemento. Este gráfico constituye la curva patrón para determinar el contenido de cemento de una BTC. Esta curva patrón, característica de las condiciones imperantes en el momento, recálculéla todos los días y cada vez que existan cambios de los materiales y/o reactivos químicos.

## 6.- Método 2, Método de Neutralización.

**6.1 Resumen del Método.** El proceso se basa en la continua neutralización de una solución acuosa de la muestra de BTC por un determinado período, lo que se consigue agregando suficiente ácido para neutralizar el ión OH, que es liberado en forma continua durante el proceso de hidratación del cemento. La cantidad de ácido empleada es directamente proporcional al contenido de cemento de la BTC.

Este procedimiento debe usarse sólo cuando los agregados reaccionan con el ácido.

### 6.2 Procedimiento de Ensaye.

- a) Tome 4 muestras de 3 kg cada una de BTC en terreno, usando el procedimiento especificado en el Anexo 2. Prepare a continuación muestras de 300 g tal como se describe en 5.2 y deposítelas en sendas cubetas plásticas de 2 l de capacidad. Agregue a cada muestra 250 ml de agua potable y tome el tiempo. Agregue dos gotarios completos de solución de fenolftaleína (aprox. 40 gotas) a cada recipiente. La solución adquirirá un color rojo debido a la presencia de cemento. Pese cada muestra (con su cubeta) aproximando a 0,5 g.
- b) 10 min después de haber agregado el agua, adicione la solución de ácido clorhídrico 3 N con la bureta de titulación, revolviendo continuamente. La dosis inicial de ácido depende de la cantidad de cemento que supuestamente contiene la mezcla y se determina en base a la diagonal superior de la Lámina 8.102.17.A3.A Figura 1 del Anexo 3.
- c) Cuando reaparezca la coloración roja, después de la primera adición de ácido, agregue ácido por segunda vez usando buretas y en la cantidad indicada por la diagonal inferior de la Lámina 8.102.17.A3.A del Anexo 3.
- d) Después de dar las primeras adiciones de ácido, continúe agregando ácido en las cantidades mínimas necesarias para hacer desaparecer la tonalidad roja y mantener la solución neutra, lo que requerirá de gran concentración por parte del operador. Además de la agitación inicial ejecutada durante la primera adición del ácido, haga pequeñas revolturas de 3 s de duración cada min y una revoltura fuerte de 6 s de duración cada 5 min.
- e) Continúe añadiendo ácido en las cantidades mínimas necesarias para mantener la solución neutra, hasta una hora después de haber agregado agua a la muestra (ver 6.2 a). Posteriormente pese al recipiente plástico aproximando a 0,5 g.
- f) Calcule y anote el peso total de ácido clorhídrico usado para neutralizar la solución, en base al peso inicial y final (ver Lámina 8.102.17.A3.B, Figura 3 del Anexo 3).
- g) Finalmente determine el porcentaje de cemento usando el valor obtenido en 6.2 f) y la curva patrón determinada en 6.3 (ver Lámina 8.102.17.A3.B del Anexo 3).

### 6.3 Determinación de la Curva Patrón.

- a) Son igualmente válidos para esta determinación los conceptos y fundamentos señalados en 5.3 a). Sin embargo, si una pequeña cantidad de muestra sin cemento tomara una coloración roja cuando se le agrega unas cuantas gotas de solución de fenolftaleína, esto revela la presencia de álcalis solubles en agua, por lo que debe hacerse también un ensaye con dos muestras gemelas sin cemento.
- b) Procedimiento.
- Confeccione las muestras de ensaye usando las proporciones indicadas en 5.3 b).
  - Realice el ensaye de Neutralización Constante siguiendo el procedimiento indicado en 6.2, teniendo la precaución de considerar un 5% de cemento para efecto de calcular las dos primeras adiciones de ácido en la Lámina 8.102.17.A3.A, Figura 1, lo que corresponde a 21 y 8 ml, respectivamente.
  - Finalizado los ensayes, determine la curva patrón en base a los gramos de ácido usado y el porcentaje de cemento para las muestras gemelas (5%). Debe considerar también las muestras sin cemento si fuese necesario (ver 6.3 a), tal como se ilustra en la Lámina 8.102.17.A3.B, Figura 3 del Anexo 3.
  - Para dibujar la curva patrón trace una recta entre el origen del gráfico, o el promedio de las muestras sin cemento si correspondiera, y el resultado promedio de las 2 muestras con 5% de cemento. Esta curva será la referencia para determinar el contenido de cemento de muestras de BTC provenientes de terreno.

## ANEXO 1 - REACTIVOS Y PRECAUCIONES

### A.1.1 Acido Clorhídrico (aprox. 3 N)

Mezcle cuidadosamente 5,5 kg de ácido clorhídrico concentrado p.a. con 15 l de agua potable en un bidón plástico de 20 l. Agregue el agua en incremento de 4 l, agitando el bidón vigorosamente después de cada adición hasta obtener una mezcla homogénea.

### A.1.2 Hidróxido de Sodio (aprox. 1 N)

Para obtener 20 l de solución, siga las siguientes instrucciones:

- a) Use un segundo bidón de 20 l, disuelva 850 g de hidróxido de sodio en gránulos con 4 l de agua destilada a una temperatura de 45°C.
- b) Tape el bidón y agítelo vigorosamente durante un minuto.
- c) Agregue agua potable en incrementos de 4 l, agitando cada vez, hasta completar aprox. 20 l. La temperatura de la solución irá decayendo, hasta llegar a la temperatura del agua fría.
- d) Enfríe hasta temperatura ambiente, luego examine la solución mirando por la abertura del bidón, (previamente iluminado) y verifique que no existen partículas en suspensión. La presencia de partículas en suspensión obliga a preparar una nueva solución.

### A.1.3 Indicador de Fenolftaleína (solución al 1%)

Disuelva 5 g de fenolftaleína en polvo U S P en 250 ml de etanol; a continuación diluya con 250 ml de agua destilada.

### A.1.4 Arena Normal.

Cuando no pueda obtener Arena Normal fácilmente, use microesferas de vidrio de las contenidas en las pinturas reflectantes para demarcación de pavimentos.

### A.1.5 Precauciones.

- a) Los operadores que preparen soluciones ácidas y básicas deben usar guantes adecuados, delantal y anteojos para protección y seguridad, debiendo ser personal entrenado en manipuleo de productos químicos.

- b) Mantenga los reactivos en botellas tapadas, cuando se estén usando, para evitar la evaporación, con la consiguiente pérdida de la concentración. Deben darse instrucciones precisas de que los envases de vidrios no podrán ser sustituidos por envases de plástico.
- c) No deben llevarse las soluciones cerca de la boca, aun después de realizado el ensaye.
- d) Estos ensayos no deben efectuarse por personas daltónicas o acromatópsicas.
- e) El personal que realiza los ensayos debe saber que la fenoltaleina causa alergia a algunas personas y tiene un poderoso efecto laxante. No ingerir.

## ANEXO 2 - METODO DE MUESTREO EN TERRENO.

### A.2.1 Generalidades

Este procedimiento permite el muestreo en terreno de muestras representativas de BTC. Cada muestreo deberá tener un propósito determinado, tal como controlar la eficiencia del mezclador, la relación entre el cemento y el alimentador de agregados o las variaciones en el contenido de cemento durante el día.

El tamaño de la muestra debe ser aprox. 3.000 g.

### A.2.2 Procedimiento

- a) Muestreo en planta central. El procedimiento más adecuado en este caso es tomar el material después que ha sido extendido. Este muestreo verifica la eficiencia combinada del mezclador y la máquina extendidora. No obstante, si se encontrara una fuerte diferencia en los muestreos, deberán tomarse muestras adicionales de la planta para detectar el problema
- b) Planta mezcladora continua. Considerando que en una planta continua se suministra la mezcla mediante una correa transportadora, las muestras deberán tomarse de la correa a intervalos de 5 a 10 min.
- c) Muestreo para comprobar las fluctuaciones en el contenido de cemento. Después de haber verificado que los equipos están funcionando satisfactoriamente, es importante tomar muestras ocasionalmente para comprobar la normal alimentación del cemento. Por lo tanto tome muestras en la dirección del extendido, representando cada muestra un promedio de la sección transversal.

## ANEXO 3

**TABLA 8.102.17.A**  
**CANTIDADES DE MATERIAL NECESARIO PARA**  
**CONFECCIONAR MUESTRAS CON UN 5% DE CEMENTO**

Humedad %	Peso Seco del Agregado (g)	Agua (ml)	Cemento (g)
5	271	15	13,6
6	270	17	13,5
7	267	20	13,3
8	265	22	13,2
9	263	24	13,1
10	260	27	13,0
11	257	30	12,9
12	255	32	12,8
13	252	35	12,6
14	250	37	12,5
15	249	39	12,4
16	247	41	12,3
17	244	44	12,2
18	242	46	12,1
19	240	48	12,0
20	238	50	11,9

**TABLA 8.102.17.B**  
**CANTIDADES DE MATERIAL PARA**  
**CONFECCION DE MUESTRAS SIN CEMENTO**

Humedad (%)	Peso Seco del Agregado (g)	Agua (ml)
5	286	14
6	283	17
7	280	20
8	277	23
9	275	25
10	273	27
11	270	30
12	268	32
13	266	34
14	263	37
15	261	39
16	259	41
17	256	44
18	254	46
19	252	48
20	250	50

**TABLA 8.102.17.C**  
**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO**  
**METODO DE TITULACION**

Determinación del Método de Ensaye					Determinación de Curva Patrón				
Item	Tipo de Muestra	Muestra N°	NaOH ml	Valores Control	Lugar de muestreo (km)	Curva N°	% Cemento	Muestra N°	NaOH
A	Arena Normalizada	7	102,6	102,7	360	2	0	9	100,0
		8	102,9		"	2	0	10	101,5
B	Agregado sin cemento	9	100,0	100,0					
		10	101,5		360	2	5	9	53,4
C	A B Valor Promedio – Valor menor			27	"	2	5	10	52,6
Si C < 6 ml use Método I <input checked="" type="checkbox"/>									
Si C ≥ 6 ml use Método II <input type="checkbox"/>									

TABLA 8.102.17.D

DETERMINACION DE LAS MUESTRAS DE TERRENO										
Lugar de Muestreo (I/D)	Tiempo mezclado	Peso muestra (g)	Pero ret. 10 mm (g)	% pasa 10 mm	Muestra N°	Peso del recipiente (g)		Na OH	% Cemento	OBSERVACIONES
						Inicial	Final			
360 (I)	0830	4070	1470	36	1			67,4	3,5	Promedio = 3,9%
	0830	4740	1700	36	2			64,0	3,9	
	0830	4350	1840	42	3			61,4	4,1	
	0830	4880	1840	38	4			61,6	4,1	
370 (I)	0950	3890	1650	42	5			53,6	5,0	Promedio = 4,4%
	0950	4995	2175	44	6			61,4	4,1	
	0950	3435	1775	52	7			59,6	4,3	
	0950	3960	1895	48	8			60,6	4,2	
380 (I)	1030	3550	1100	31	1			58,6	4,4	Promedio = 5,0%
	1030	3965	1825	46	2			49,,0	5,5	
	1030	3600	1690	47	3			51,8	5,2	
	1030	3420	1410	41	4			55,0	4,8	
365 (D)	1340	4075	1550	38	5			55,0	4,8	Promedio = 4,6%
	1340	5280	2240	42	6			65,6	3,7	
	1340	5600	2260	40	7			53,6	5,0	
	1340	3235	1105	34	8			54,8	4,8	

**TABLA 8.102.17.E**  
**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO**  
**METODO DE TITULACION**

Determinación del Método de Ensaye					Determinación de Curva Patrón				
Item	Tipo de Muestra	Muestra N°	NaOH ml	Valores Control	Lugar de muestreo (km)	Curva N°	% Cemento	Muestra N°	HCL
A	Arena Normalizada	3	94,4	94,6	Muestra de Terreno	1	5	5	65,1
		4	94,8				5	6	64,4
B	Agregado sin cmto.	1	58,2	58,2					
		2	61,6						
C	A B Valor Promedio – Valor menor			36,4					
Si C < 6 ml use Método I			<input type="checkbox"/>						
Si C ≥ 6 ml use Método II			<input checked="" type="checkbox"/>						

TABLA 8.102.17.F

Lugar de Muestreo (I/D)	Tiempo mezclado	Peso muestra (g)	Peso ret. 10 mm (g)	% pasa 10 mm	Muestra N°	Peso del recipiente (g)		HCI	% Cemento	OBSERVACIONES
						Inicial	Final			
						Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s.	0835				4280 4010 3815 4435	3170 3050 2990 3295	74 76 78 74	10 11 12 13	808,5 813,5 806,5 816,0	883,0 892,5 891,5 890,5	74,5 79,0 85,0 74,5	5,7 6,1 6,5 5,7	Promedio = 6,0%
Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s	1100	3600 3775 4140 3700	2880 3050 3470 3005	80 81 84 81	10 12 13 14	830,5 808,5 809,0 811,5	901,0 878,5 880,0 897,5	70,5 70,0 71,0 86,0	5,4 5,4 5,5 6,6	Promedio = 5,7%
Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s.	1350	5110 4770 4060 4270	3910 3690 2920 3380	77 77 72 79	10 12 13 14	810,5 812,5 808,0 808,0	876,0 884,0 871,0 873,5	65,5 71,5 63,0 65,5	5,0 5,5 4,9 5,1	Promedio = 5,1%

FIGURA 1

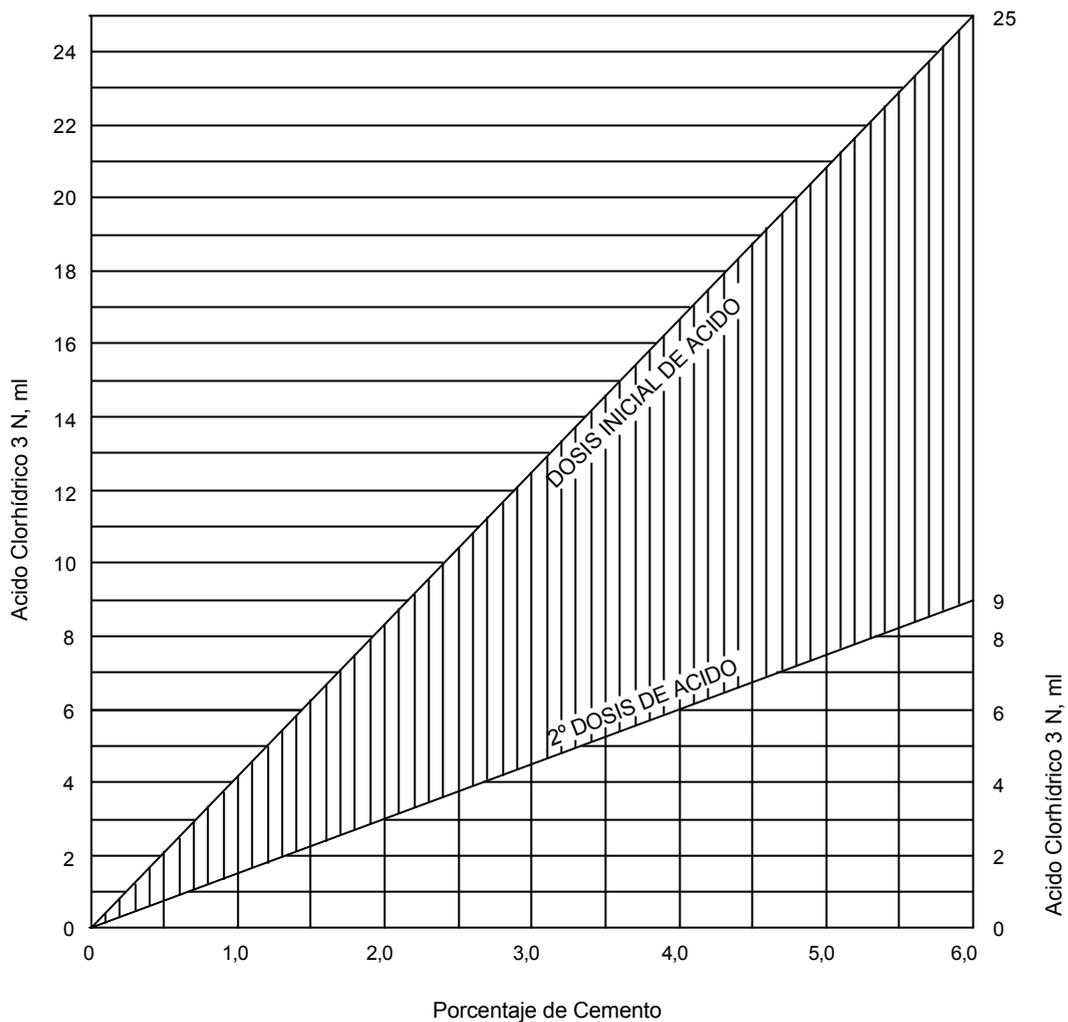
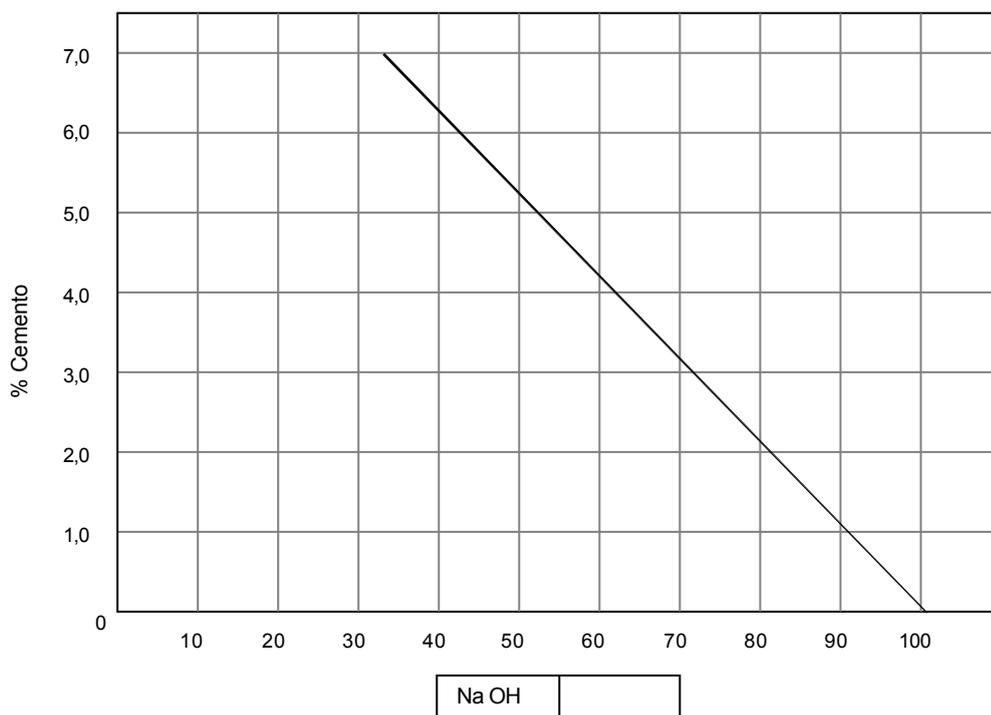
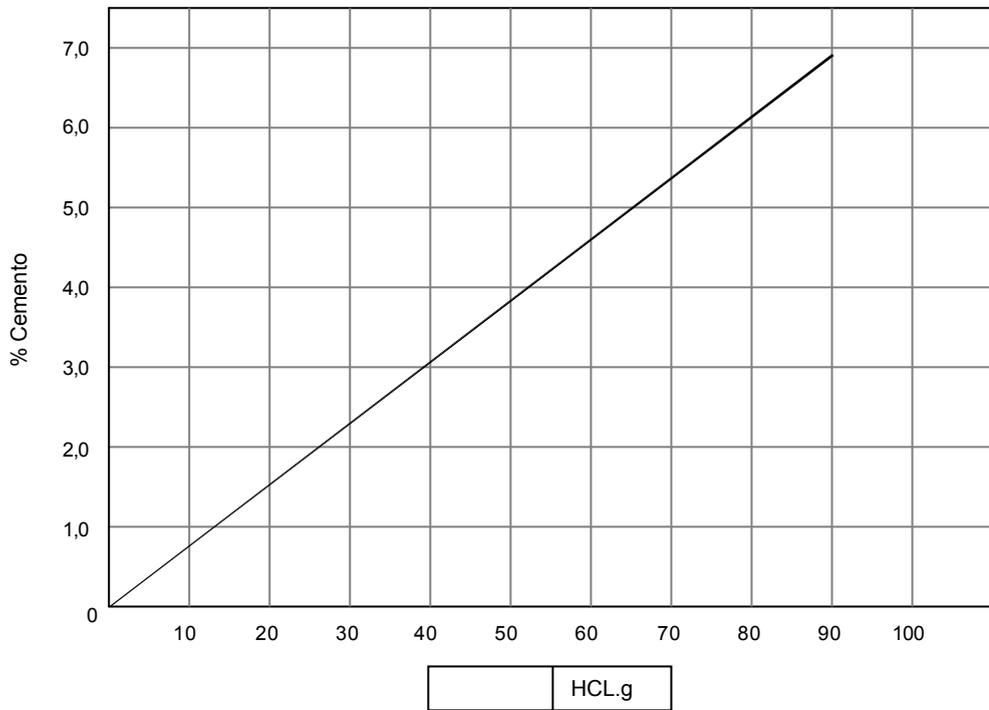


FIGURA 2



Na OH

FIGURA 3





## 8.102.18 SUELOS: METODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUIMICOS

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este método se aplica para evaluar la efectividad de los estabilizadores químicos en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos.

**1.2** La eficacia de estos productos se mide por comparación entre suelos tratados y no tratados mediante determinaciones de resistencia a la compresión no confinada, Razón de Soporte de California, relación humedad/densidad y módulo resiliente, entre otras pruebas.

**1.3** Dada la naturaleza y características de los productos químicos utilizados como estabilizadores, debe velarse por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

**1.4** La principal aplicación de este procedimiento está en el mejoramiento de suelos naturales y/o la estabilización de capas de rodadura granulares, extendiéndose también su uso a estructuras de suelo del tipo base o subbase de pavimentos y para suelos que, de alguna manera, comprometan la subrasante de un camino.

**1.5** Esta norma se aplica a suelos tratados con aglomerantes tales como cemento y/o asfalto, en los porcentajes que determine el diseño, cuando los suelos a utilizar o los aglomerantes utilizados incorporen estabilizadores químicos como aditivos mejoradores de alguna propiedad.

**1.6** Este método no se aplica a los estabilizadores químicos cal y ceniza.

**1.7** Este método es aplicable a mezclas íntimas y homogéneas de los productos utilizados con el suelo a tratar. Por tanto, no considera la utilización de estos productos como riegos superficiales.

### 2.- Referencias.

- Método 8.102.1 Suelos: Método para determinar la granulometría.
- Método 8.102.3 Suelos: Método para determinar el Límite Líquido.
- Método 8.102.4 Suelos: Método para determinar el Límite Plástico.
- Método 8.102.8 Suelos: Método para determinar la Densidad Relativa en suelos no cohesivos.
- Método 8.102.9 Suelos: Método del cono de arena para determinar la densidad en terreno.
- Método 8.102.11 Suelos: Método de ensaye CBR ( Razón de Soporte de California )
- Método 8.102.6 Suelos: Método para determinar la relación humedad/densidad. Ensaye Proctor Normal
- Método 8.102.7 Suelos: método para determinar la relación humedad/densidad. Ensaye Proctor Modificado
- ASTM D 2166 Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- ASTM D 2435 Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.
- NCh 2245 Hoja de datos de seguridad de productos químicos – Contenido y disposición de los temas
- NCh 2253 Sustancias peligrosas – Transporte por Carretera – Hoja de datos de seguridad.
- NCh 2505.Of.2001 Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo.
- ASTM D 4609 Standard Guide for Screening Chemicals for Soil Stabilization.
- ASTM D 4767 Test Method for Consolidated - Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.

### 3.- Terminología.

**3.1 Estabilización de Suelos.** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico-químicos.

**3.2 Estabilización Mecánica.** Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, mediante procedimientos mecánicos.

**3.3 Estabilización Química.** Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo, mediante la incorporación de un compuesto químico.

**3.4 Estabilizador de Suelos.** Producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

**3.5 Propiedades de Desempeño.** Corresponden a características de comportamiento del suelo desde el punto de vista de la ingeniería.

**Nota 1:** La evaluación de estas propiedades de desempeño se realiza mediante ensayos en laboratorio y/o terreno, definidos por las normas que se indican en cada una de ellas.

**3.6 Trabajabilidad.** Facilidad para mezclar el suelo, colocarlo, enrasarlo y compactarlo.

#### 4.- Generalidades sobre Estabilizadores Químicos.

**4.1** Los estabilizadores químicos son básicamente productos aglomerantes. Pueden ser de dos tipos: iónicos o poliméricos. Los del tipo iónico están representados por sales solubles, mientras que los poliméricos por productos derivados del petróleo.

**4.2** Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado.

#### 5.- Documentación Técnica

Todo producto estabilizador químico debe ir acompañado por los documentos siguientes:

Manual Informativo y Hoja de Datos de Seguridad. La información errónea o incompleta relativa salud y medio ambiente se considera como un no cumplimiento de esta norma y además, de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuidor del producto.

**Nota 2:** No obstante lo anterior, esta situación no exime la responsabilidad al administrador de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de éste y las condiciones en que se debe utilizar.

##### 5.1 Manual Informativo

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de un Manual Informativo, en que se haga especial referencia a los potenciales riesgos para la salud de las personas y el medio ambiente.

El Manual Informativo debe ser emitido por el fabricante y/o distribuidor, y debe contener a lo menos la información siguiente:

- a) Nombre del producto;
- b) nombre del fabricante o distribuidor;
- c) descripción del producto;
- d) composición química genérica;
- e) condiciones de manipulación;
- f) condiciones de transporte;
- g) condiciones de almacenamiento;
- h) condiciones y forma de utilización (proporciones, mezcla, tiempo de curado, etc.).

## 5.2 Hoja de Datos de Seguridad

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de una Hoja de Datos de Seguridad de productos químicos (HDS), de acuerdo a lo indicado en NCh 2245. Análogamente y debido a los riesgos inherentes al transporte de estos productos, se debe acompañar una Hoja de Datos de Seguridad para Transporte (HDST), de acuerdo a lo indicado en NCh 2353.

## 6.- Propiedades de Desempeño

**6.1** En relación a las condiciones específicas de cada proyecto, se asume que la estabilización química de suelos puede cumplir funciones diferentes si ésta se aplica sobre una capa de rodadura (superficie de rodadura), una capa intermedia (base o subbase) o suelos de subrasante. De este modo, se considera que cada capa estructural tiene propiedades características que se pueden modificar mediante un estabilizador químico.

**6.2** Las propiedades de desempeño se evalúan en forma relativa, comparando los resultados de ensayos con y sin producto estabilizador, tanto en terreno como en laboratorio.

**6.3** Los resultados de ensayos de laboratorio no garantizan necesariamente un comportamiento similar del producto en terreno. El desempeño in situ es el resultado más representativo de la eficacia del producto utilizado. También es conveniente señalar la importancia que reviste el diseño estructural, del camino por tratar, en el éxito de la aplicación.

**6.4** La definición de los parámetros para un diseño en particular quedará a criterio del proyectista. A modo de guía, se sugiere el siguiente conjunto mínimo de ensayos de laboratorio para materiales con y sin producto estabilizador:

- a) Clasificación del tipo de suelo según AASHTO.
- b) Curvas humedad - densidad (Proctor).
- c) Capacidad de soporte (CBR).
- d) Comportamiento ante los cambios de humedad para la (s) propiedad (es) seleccionada (s) para el diseño.

**6.5** Las propiedades de desempeño dependen de un gran número de factores, difíciles de reproducir y/o evaluar tanto en el laboratorio como en terreno. La mejor manera de medir el desempeño mecánico y en particular la durabilidad del material tratado es a través de la prueba en terreno.

**6.6 Informe Inicial.** Los controles mínimos por realizar en laboratorio y terreno por parte del fabricante o proveedor del producto una vez terminada la construcción, son los siguientes:

### a) Obligatorios

- Informe de ensayos de laboratorio.
- Memoria de cálculo del diseño de la aplicación.
- Dosis del producto por m<sup>3</sup> de capa tratada.
- Densidad de la capa tratada.
- Espesores de la capa tratada.
- Registro de deficiencias, imprevistos y/o problemas observados durante la etapa de construcción.
- Antecedentes climáticos y pluviométricos del lugar.

**Nota 3:** El control de dosis del producto puede realizarse mediante medición directa en terreno.

**Nota 4:** El control de espesores puede hacerse mediante topografía, extracción de testigos, o bien durante la inspección al momento de tomar la densidad en terreno a través del cono de arena.

### b) Optativos

- Rugosidad (IRI).
- Deflectometría.

**Nota 5:** La rugosidad puede controlarse mediante perfilómetro clase II o superior, o con un equipo del tipo de respuesta.

**6.7 Informes Periódicos.** Los controles periódicos para evaluar en el tiempo el comportamiento del producto en terreno se informarán con una frecuencia comprendida entre 1 y 3 meses, dependiendo de la envergadura del camino tratado y/o de los objetivos perseguidos:

**a) Obligatorios**

- Inspección visual, que identifique y describa las fallas típicas más significativas como, por ejemplo, pérdida de material, calamina, baches, asentamientos, etc. Esta descripción deberá ser acompañada de una monografía que incluya un registro fotográfico en formato digital.
- Ahuellamiento.

**b) Optativos**

- Rugosidad (IRI).
- Deflectometría.
- Censo vehicular.

**7.- Informes del Proyecto.**

**7.1** Todos los informes de la aplicación deben incluir lo siguiente:

- a)** Identificación del contrato.
- b)** Nombre del producto.
- c)** Procedencia del producto.
- d)** Identificación del fabricante, proveedor o representante del producto.
- e)** Fecha de entrega del informe.
- f)** Cualquier otra información relativa a la aplicación.

**7.2 Informe Inicial.** Este informe debe contener un resumen de las experiencias en laboratorio con y sin producto, además de incluir los problemas constructivos de la obra y los resultados de los controles mínimos necesarios una vez terminada la construcción.

**7.3 Informes Periódicos.** El resultado del seguimiento del tramo tratado.

**7.4 Informe Final.** Se emitirá al concluir la vida útil de la aplicación del producto y corresponderá al último informe periódico elaborado a esa fecha. En este informe debe(n) incluirse la(s) causa(s) que explicaría (n) la falla prematura de la aplicación o la sobrevida, en caso que algunas de éstas ocurran.

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.200 AGREGADOS PÉTREOS**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



## MANUAL DE CARRETERAS

### VOLUMEN 8

#### ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### INDICE

#### CAPITULO 8.200 – AGREGADOS PETREOS

#### INTRODUCCION

#### SECCION 8.201 ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS PETREOS

8.201.1 AGREGADOS PETREOS: ESPECIFICACIONES GENERALES DE ARIDOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES

#### SECCION 8.202 METODOS PARA AGREGADOS PETREOS

- 8.202.1 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS
- 8.202.2 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS
- 8.202.3 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRIA
- 8.202.4 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,080 mm
- 8.202.5 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DEL FILLER
- 8.202.6 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTICULAS
- 8.202.7 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE LAJAS
- 8.202.8 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE TRITURACION
- 8.202.9 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA
- 8.202.10 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION DE HUECOS
- 8.202.11 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
- 8.202.12 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMETRICO MEDIO DE LOS PETREOS GRUESOS
- 8.202.13 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE ESPECIFICA
- 8.202.14 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES
- 8.202.15 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION COLORIMETRICA DE IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS PARA HORMIGONES.
- 8.202.16 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTICULAS DESMENUZABLES
- 8.202.17 AGREGADOS PETREOS: METODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACION
- 8.202.18 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS
- 8.202.19 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE
- 8.202.20 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS GRUESOS
- 8.202.21 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS FINOS
- 8.202.22 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL.



## **MANUAL DE CARRETERAS**

### **VOLUMEN 8**

#### **ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

##### **CAPITULO 8.200 – AGREGADOS PETREOS**

###### **INTRODUCCION**

El Capítulo 8.200 Agregados Pétreos, contiene las exigencias a que deben ajustarse los agregados que se utilizan para preparar los morteros y hormigones a incorporar a las obras viales y describe procedimientos para determinar sus propiedades. Al igual que otros Capítulos de este Manual, éste se presenta dividido en dos partes; la primera, Especificaciones, está dedicada a establecer requisitos, en tanto que en la segunda se incluyen los procedimientos para realizar los ensayos propiamente tales.

En las Especificaciones sólo se incluyen los requisitos exigidos a los materiales pétreos destinados a ser incorporados en la preparación de hormigones y morteros de cemento; se individualiza como acápite 8.101.1

La parte en que se describen los procedimientos para ensayar los materiales, está compuesta por 22 Métodos numerados correlativamente desde el 8.202.1 al 8.202.22. La lista de Métodos se presenta siguiendo la numeración correlativa, sin separaciones, sin embargo, ella guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Los 2 primeros métodos del listado (8.202.1 y 8.202.2), se refieren a la forma en que se deben extraer y preparar las muestras que van a ser ensayadas.

Los siguientes 16 métodos (8.202.3 al 8.202.18) están destinados a determinar graduaciones de las partículas y establecer algunas de sus propiedades físicas de las mezclas; entre otras, cubicidad de las partículas, índices de lajas y trituración, desgaste, superficie específica y determinación del contenido de impurezas y sales. Dentro de este grupo se debe incluir el Método 8.202.22 que se refiere a la determinación de la resistencia a la degradación de las partículas.

Los 3 procedimientos restantes (8.202.19 al 8.202.21) se refieren a los procedimientos que se deben utilizar para determinar relaciones de densidad y de absorción de los pétreos gruesos.



## CAPITULO 8.200 AGREGADOS PETREOS

### SECCION 8.201 ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS PETREOS

#### 8.201.1 AGREGADOS PETREOS: ESPECIFICACIONES GENERALES DE ARIDOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación establece los requisitos que deben cumplir los áridos para hormigones y morteros de cemento hidráulico. Se aplica a los áridos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones.

\*La especificación 8.201 es una adaptación de la norma NCh 163 Of. 79.

#### 2.- Referencias.

- Norma NCh 2256/1 C-2000 Morteros Parte 1. Requisitos Generales.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.3 Agregados pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.

#### 3.- Terminología.

**3.1 Arido.** Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

**3.2 Arido Natural.** Arido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.

**3.3 Arido Tratado.** Arido que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado, en operaciones mecánicas controladas.

**3.4 Arido Fino.** Arido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm y es retenido en el de 0,08 mm.

**3.5 Arido Grueso.** Arido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm.

**3.6 Arido Combinado.** Arido resultante de la combinación de arido fino y arido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la fabricación de un hormigón.

**3.7 Arido Integral.** Arido grueso y arido fino mezclados en proporción no definida.

**3.8 Granulometría de un Arido.** Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un arido, determinada de acuerdo con el Método 8.202.3.

**3.9 Módulo de Finura.** Es un índice que sirve para clasificar los agregados pétreos en función de su granulometría.

**3.10 Tamaño Máximo Absoluto de un Arido (Da).** Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida en el Método 8.202.3, que deja pasar el 100% de la masa del arido.

**3.11 Tamaño Máximo Nominal de un Arido (Dn).** Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% o más de la masa del arido. Cuando pasa menos del 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto.

#### 4.- Clasificación.

**4.1** Los áridos para uso en morteros y hormigón se clasifican según el tamaño de sus partículas en dos tipos: árido fino y árido grueso.

**4.2** Los áridos gruesos se subclasifican según los tamaños límites de sus partículas en los grados que se establecen en la Tabla 8.201.1.E.

**4.3** Los áridos finos para hormigones se subclasifican según los tamaños límites de sus partículas, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 8.201.1.B y, en determinados casos, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 8.201.1.C.

**4.4** Los áridos finos para morteros se subclasifican según los tamaños máximos indicados en la Tabla 8.201.1.D.

#### 5.- Requisitos.

**5.1 Requisitos Generales.** Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables. Deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas, partículas laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por su naturaleza o cantidad afecten la resistencia o la durabilidad de morteros y hormigones, de acuerdo con los valores límites que se especifican en la Tabla 8.201.1.A.

**TABLA 8.201.1. A  
REQUISITOS GENERALES**

Requisitos	Valores límites		Método
	Arido grueso	Arido fino	
1. Material fino menor que 0,080 mm (Nota 2) a) Para hormigón sometido a desgaste, % máx. b) Para todo otro hormigón, % máx.	0,5 1,0	2,0 5,0	8.202.4
2. Granulometría a) Para hormigones b) Para morteros	Tabla 8.201.1.E -	Tabla 8.201.1.B (C) Tabla 8.201.1.D	8.202.3
3. Resistencia al desgaste. Máquina de Los Angeles a) Para hormigón sometido a desgaste, % máx. b) Para todo otro hormigón, % máx.	35 40	- -	8.202.11
4. Índice de trituración a) Para hormigón sometido a desgaste, % máx. b) Para todo otro hormigón, % máx.	20 30	4 5	8.202.8
5. Partículas desmenuzables, % máx.	5,0	3,0	8.202.16
6. Partículas chancadas Para hormigón de pavimento, % mín.	50	-	8.202.6
7. Absorción de agua (porosidad) (Nota 7), % máx.	2	3	8.202.20 8.202.21
8. Resistencia a la desintegración (pérdida de masa en cinco ciclos de inmersión y secado) (Nota 6) a) Con sulfato de sodio, % máx. b) Con sulfato de magnesio, % máx.	10 15	10 15	8.202.17
9. Impurezas orgánicas (referidas a color límite según patrón)	-	amarillo claro	8.202.15
10. Cloruros como $Cl^-$ (kg/m <sup>3</sup> de hormigón) (Nota 3) a) Para hormigón armado (Nota 1), máx. b) Para hormigón pretensado, máx.		1,20 0,25	8.202.18

Requisitos	Valores límites		Método
	Árido grueso	Árido fino	
11. Sulfatos y sulfuros como $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{kg/m}^3$ de hormigón) (Notas 4 y 5) a) Sulfatos solubles en agua, máx. b) Sulfuros oxidables, máx.		0,60 1,80	8.202.18
12. Carbón y lignito a) Para hormigón a la vista, % máx. b) Para todo otro hormigón, % máx.	0,5 1,0	0,5 1,0	ASTM C 123
13. Coeficiente volumétrico medio a) Árido de tamaño máximo absoluto mayor que 25 mm - Para hormigón simple, mín. - Para hormigón armado, mín. b) Árido de tamaño máximo absoluto menor que 25 mm - Para hormigón simple, mín. - Para hormigón armado, mín.	0,15 0,20 0,12 0,15	- - - -	8.202.12
14. Partículas blandas, % máx.	5,0	-	IRAM 1644

- Nota 1:** El hormigón armado incluye todos los casos en que haya elementos de acero embebidos en el hormigón.
- Nota 2:** Los valores límites de material fino menor a 0,08 mm podrán subir a 5 y 7%, respectivamente, cuando el árido fino provenga de una planta chancadora y además éste tenga un equivalente de arena mayor que 75%, obtenido según Método 8.202.9.
- Nota 3:** Para cuantificar el contenido de cloruros se debe considerar el aporte proporcional del árido fino y del árido grueso en  $1 \text{ m}^3$  de hormigón elaborado. Cuando haya aporte de cloruros de los demás componentes del hormigón (agua de amasado, cemento, aditivos), los límites de la tabla deben considerar también dichos aportes.
- Nota 4:** Para cuantificar el contenido de sulfatos y sulfuros oxidables se debe considerar el aporte proporcional del árido fino y del árido grueso en  $1 \text{ m}^3$  de hormigón. Cuando haya aportes de sulfatos y/o sulfuros de los demás componentes del hormigón (excluyendo el cemento), los límites de la tabla deben considerar también dichos aportes.
- Nota 5:** El límite de sulfuros está basado en el comportamiento de áridos de la zona central del país, los cuales, con contenidos similares de sulfuros, no han presentado reacciones perniciosas en servicio.
- Nota 6:** El ensaye es optativo con cualquiera de ambas sales. En caso de incumplimiento se recomienda decidir en base a ensaye de congelación y deshielo (ASTM C 666) sobre probetas de hormigón, aceptando una pérdida de masa igual o menor que el 25% en 300 ciclos.
- Nota 7:** En caso de incumplimiento de este requisito se recomienda efectuar ensayos sobre mezclas de prueba. Para hormigones en zonas de clima severo se recomienda efectuar adicionalmente ensayos de congelación y deshielo (ASTM C 666) sobre probetas de hormigón, aceptando una pérdida de masa igual o menor que el 25% en 300 ciclos.

## 5.2 Requisitos Granulométricos del Árido Fino para Hormigón.

- a) La granulometría del árido fino para hormigón, determinada según Método 8.202.3, debe cumplir con los límites especificados en la Tabla 8.201.1. B.

**TABLA 8.201.1.B  
GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO PARA HORMIGON**

Tamices		% acumulado que pasa
(mm)	(ASTM)	
10	3/8"	100
5	N° 4	95 – 100
2,5	N° 8	80 – 100
1,25	N° 16	50 – 85
0,630	N° 30	25 – 60
0,315	N° 50	10 – 30
0,160	N° 100	2 - 10

- b) En caso que por condiciones locales no sea factible cumplir con la banda de la Tabla 8.201.1.B, se podrá optar por alguna de las bandas de la Tabla 8.201.1.C, siempre que las mezclas de hormigón de prueba confeccionadas con estos materiales presenten un buen comportamiento y cumplan con los requisitos de las especificaciones particulares de la obra.

**TABLA 8.201.1.C  
TIPOS GRANULOMETRICOS DE ARIDO FINO PARA HORMIGON**

Tamaños		1	2	3	4	5	6	7
Denominación		Muy Gruesa	Gruesa	Media o Normal	Media Gruesa	Fina	Muy Fina	Discontinua
Tamices		% acumulado que pasa						
(mm)	(ASTM)							
10	3/8"	100	100	100	100	100	100	100
5	N° 4	60-75	75-90	95-100	70-90	90-100	95-100	30-60
2,5	N° 8	35-55	55-80	80-100	40-80	85-100	90-100	30-40
1,25	N° 16	27-50	35-60	50-85	40-70	70-90	85-100	30-40
0,630	N° 30	15-40	22-40	25-60	40-60	60-80	80-100	17-40
0,315	N° 50	8-25	12-25	10-30	25-37	37-50	50-62	9-25
0,160	N° 100	3-10	3-10	2-10	6-13	12-20	15-20	4-10
MF máximo		3,45	2,95	2,15	2,50	2,46	1,13	3,85
MF mínimo		4,52	3,98	3,38	3,79	3,60	1,80	4,80

**5.3 Requisitos Granulométricos del Arido Fino para Morteros.** La granulometría del árido fino para morteros, determinada de acuerdo con el Método 8.202.3, debe cumplir con los límites especificados en la Tabla 8.201.1.D.

**TABLA 8.201.1.D  
GRANULOMETRIA DEL ARIDO FINO PARA MORTEROS**

Tamices		% acumulado que pasa		
		Tamaño Máximo Nominal, Dn (mm)		
(mm)	(ASTM)	5	2,5	1,25
10	3/8"	100		
5	N° 4	95-100	100	
2,5	N° 8	80-100	95-100	100
1,25	N° 16	50-85	70-100	95-100
0,630	N° 30	25-60	40-75	50-100
0,315	N° 50	10-30	10-35	15-40
0,160	N° 100	2-10	2-15	2-20
Módulo de Finura		3,38 - 2,15	2,83 - 1,75	2,38 - 1,40
Retenido entre 0,315 y 0,160 mm		-	< 25	< 25
Retenido entre dos mallas sucesivas		< 45	< 45	< 45

#### 5.4 Requisitos Granulométricos del Arido Grueso.

- a) La granulometría de los áridos gruesos, determinada según Método 8.202.3, debe cumplir con los límites especificados en Tabla 8.201.1.E.

**TABLA 8.201.1.E  
GRANULOMETRIA DEL ARIDO GRUESO**

Tamices		% acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)						
(mm)	(ASTM)	63-40	50-25	40-20 (*)	25-5	20-5 (*)	12,5-5	10-2,5
80	3"	100						
63	2½"	90-100	100					
50	2"	35-70	90-100	100				
40	1½"	0-15	35-70	90-100	100			
25	1"	-	0-15	20-55	90-100	100		
20	¾"	0-5	-	0-15	-	90-100	100	
12,5	½"		0-5	-	25-60	-	90-100	100
10	3/8"			0-5	-	20-55	40-70	90-100
5	N° 4				0-10	0-10	0-15	10-30
2,5	N° 8				0-5	0-5	0-5	0-10
1,25	N° 16							0-5

\* Banda usadas en hormigón de pavimento

- b) Los áridos gruesos que no cumplen ninguno de los grados especificados en Tabla 8.201.1.E, pueden ser empleados siempre que las mezclas de prueba presenten buen comportamiento y cumplan con los requisitos de las especificaciones particulares de la obra.

**6.- Extracción de Muestras.** La frecuencia de muestreo y los procedimientos de extracción y preparación de muestras se deben efectuar de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

#### 7.- Ensayes.

**7.1 Ensayes Destinados a Caracterización y/o Control de Recepción.** Son los destinados a determinar la aptitud de un árido para su uso en la elaboración de hormigón, los que se detallan en la Tabla 8.201.1.A. Pueden subdividirse en dos tipos:

- a) Ensayes requeridos para la confección de cualquier tipo de hormigón. Estos son:
- Granulometría.
  - Material fino menor que 0,08 mm.
  - Impurezas orgánicas.
  - Desgaste de Los Angeles.
  - Absorción de agua.
  - Contenido de cloruros.
  - Contenido de sulfatos.
  - Índice de trituración.
- b) Ensayes adicionales que sea necesario efectuar dependiendo de la procedencia de los áridos, zona en que se utilizarán y tipo de hormigón por confeccionar. Estos son:
- Resistencia a la desintegración.
  - Partículas blandas.
  - Partículas desmenuzables.
  - Partículas chancadas.
  - Coeficiente volumétrico medio.
  - Carbón y lignito.
  - Reactividad potencial.

**7.2 Ensayes Requeridos para Dosificación y Otras Aplicaciones.** Son los necesarios para dosificar, efectuar cubicaciones en obra y otras aplicaciones, estén o no incluidos en la Tabla 8.201.1.A. Entre ellos se pueden mencionar:

- Granulometría.
- Densidades aparente y real.
- Absorción de agua.
- Huecos.
- Humedad.

## SECCION 8.202 METODOS PARA AGREGADOS PETREOS

### 8.202.1 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS\*

#### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de pétreos finos, gruesos e integrales para fines de ensaye.

**1.2** Se aplicará a los pétreos naturales y manufacturados de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup>.

\* El método 8.202.1 es una adaptación de la norma NCh 164 Of 76.

#### 2.- Referencias.

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.

#### 3.- Terminología.

**3.1 Muestra de Yacimiento.** Muestra representativa del pétreo en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

**3.2 Muestra de Producción.** Muestra representativa de un pétreo removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

**3.3 Muestra de Obra.** Muestra representativa de un pétreo que se encuentra en una obra, ya sea sobre vehículos o almacenado.

**3.4 Muestra Gemela.** Conjunto de dos o más fracciones de muestra, separadas por cuarteo según Método 8.202.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensaye (operador, equipo, etc.) en la dispersión de los resultados.

**4.- Resumen del Procedimiento.** Extraiga muestras que sean representativas de la naturaleza y condiciones de los materiales pétreos, homogenícelos y redúzcalos de tamaño mediante cuarteo según Método 8.202.2. Envase las muestras y transpórtelas a laboratorio, debidamente identificadas, para los correspondientes ensayos.

**5.- Herramientas y Accesorios.** Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sea necesario considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

#### 6.- Selección y Tamaño de la Muestra.

**6.1 Aspectos Generales.** Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar. Para ello, personal debidamente experimentado debe inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad.

## 6.2 Tamaño de la Muestra.

- a) Muestra de terreno. La cantidad de muestra tomada en terreno, como se señaló en el punto 4, debe ser tal que represente la naturaleza y condición del material pétreo. Redúzcala por cuarteo hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

**Nota 1:** La contramuestra se conservará en el lugar de extracción debidamente identificada y almacenada en bolsas, cajas o recipientes, de modo de evitar contaminaciones, pérdidas o alteraciones del material.

- b) Muestra de laboratorio. La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

- Pétreo fino: 30 kg.
- Pétreo grueso: Una cantidad en kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto del pétreo grueso, expresado este último en mm.
- Pétreo integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de pétreos antes mencionados.

**Nota 2:** Para ensayos adicionales y/o especiales se aumentarán los tamaños indicados en 6.2 b) en la cantidad requerida para ellos.

## 7.- Extracción de Muestras para Reconocimiento de Yacimientos.

### 7.1 Procedimientos de Extracción.

- a) Yacimiento con frente descubierto. Inspeccione la(s) cara(s) del yacimiento, para determinar variaciones importantes o existencia de estratos. Extraiga muestras por fajas verticales del frente de explotación, de acuerdo con la homogeneidad del material, la forma de explotación y la facilidad de acceso. Registre el ancho de la faja, la profundidad horizontal y las cotas verticales de extracción de muestras si ello es procedente, además registre las diferencias observables en el color y la estructura.
- b) Yacimiento sin frente descubierto. Extraiga muestras representativas de los diferentes estratos, identificados en cada pozo de prueba o sondaje, tomando tres o más porciones de cada uno de ellos. Registre la profundidad relativa de extracción de la muestra y el espesor del (de los) estrato(s).

### 7.2 Frecuencia de Muestreo.

- a) En yacimientos con frente descubierto, extraiga muestras de fajas verticales ubicadas a distancias inferiores a 30 m.
- b) En yacimientos sin frente descubierto, ejecute al menos un pozo de prueba o sondaje cada 5.000 m<sup>2</sup>, uniformemente distribuidos y cubriendo el área de estudio.

**8.- Extracción de Muestras de Producción.** De preferencia las muestras de material manufacturado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

### 8.1 Procedimientos de Extracción

- a) Cintas transportadoras. Detenga la cinta a intervalos regulares de tiempo y extraiga porciones de pétreo que correspondan a todo material comprendido entre dos secciones transversales a la cinta, distanciadas en aproximadamente 1 m. Extraiga tres o más porciones de pétreo hasta completar la muestra.
- b) Silos, tolvas o depósitos. Extraiga porciones de pétreo en el flujo de la descarga sin incluir el primer y último 10% de ésta. Tome tres o más porciones de material hasta completar la muestra. Emplee, en lo posible, un recipiente que abarque todo el flujo del material.

- c) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de pétreo en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de éste. Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde éste extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

**8.2 Frecuencia de Muestreo.** Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

- a) Extraiga una muestra cada 1.000 m<sup>3</sup> de cada tipo de pétreo producido.  
b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de pétreo producido en un mes.

**9.- Extracción de Muestras de Obra.** Las muestras se extraerán desde vehículos o desde el material almacenado. Establezca un control de calidad durante la recepción del material y disponga los acopios según las diferencias que se observen.

**Nota 3:** El control del material almacenado tiene por objetivo cuantificar los efectos de las manipulaciones realizadas y proporcionar antecedentes para el uso de los pétreos.

### 9.1 Procedimientos de Extracción

- a) Vehículos. Extraiga porciones de pétreo en tres o más puntos, profundizando aproximadamente hasta la mitad de la altura de la carga o a intervalos regulares de tiempo durante la descarga.  
b) Silos, tolvas o depósitos. Proceda de acuerdo con 8.1b).  
c) Acopios. Proceda de acuerdo con 8.1c).

### 9.2 Frecuencia de Muestreo

- a) Control de recepción.  
- Extraiga al menos una muestra de cada tipo de pétreo por cada 500 m<sup>3</sup> recepcionados.  
- Extraiga una muestra cada vez que se cambie de fuente de abastecimiento o se aprecien cambios de calidad del material.  
- El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.  
b) Control para el uso.  
- Extraiga una o más muestras de cada tipo de pétreo por cada 250 m<sup>3</sup> por emplear.  
- Extraiga una muestra cada vez que se aprecien cambios de calidad del material, debido a tiempo prolongado de almacenamiento en obra, contaminaciones, segregaciones, etc.  
- El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

## 10.- Preparación de Muestras.

**10.1 Mezclado.** Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de pétreo obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de éste no deben mezclarse entre sí.

**10.2 Reducción.** Reduzca por cuarteo según Método 8.202.2 el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 6.2 b).

**10.3 Transporte a Laboratorio.** Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en el punto 11, con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

**11.- Registro.** Cada muestra para laboratorio llevará un registro en que se indicarán los siguientes datos:

### 11.1 Información Mínima.

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- c) Tipo de material.
- d) Procedencia del material.
- e) Tamaño aproximado de la muestra (kg).
- f) Cantidad de material que representa la muestra (m<sup>3</sup>).
- g) Procedimiento de extracción utilizado.
- h) Empleo propuesto.
- i) Ensayes requeridos.
- j) Fecha de extracción.

### 11.2 Información Optativa.

- a) Ubicación y nombre del yacimiento, depósito, planta de manufacturado u obra.
- b) Capacidad de producción o consumo diario estimado.
- c) Procedimientos de explotación y/o manufacturado.
- d) Radio de alcance (zona que abastece).
- e) Cualquier información específica relativa a las características del pétreo o a los requisitos de empleo.

## 8.202.2 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Los diferentes tipos y tamaños de agregados requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensaye.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensaye que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelo, áridos y agregados pétreos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

**2.- Procedimiento Manual.** A continuación se describe un método para reducir la cantidad del material, cuarteándola manualmente, para obtener muestras menores que 100 kg.

**2.1** Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humidézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.

**2.2** Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil.

Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños del agregado sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad del agregado.

**2.3** Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal. Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes. (Ver Lámina 8.202.2.A).

**2.4** Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.

**2.5** Repita el procedimiento indicado desde 2.1 a 2.4 con la porción restante del agregado, hasta que obtenga una muestra de ensaye del tamaño deseado.

**2.6** Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensaye de comprobación.

**3.- Procedimiento con Cuarteador Metálico o Mecánico.** El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: (Ver Lámina 8.202.2.B).

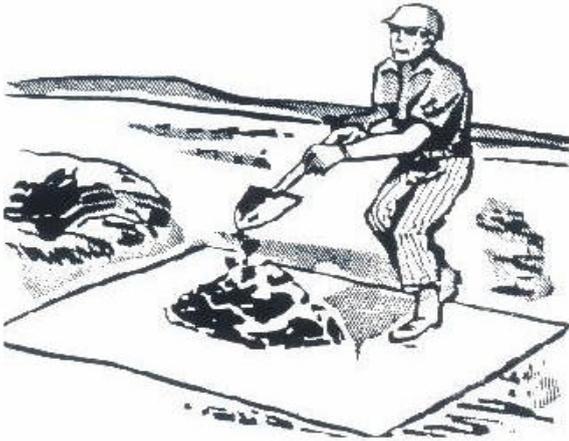
**3.1** Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.

**3.2** Vacíe la muestra en el cuarteador.

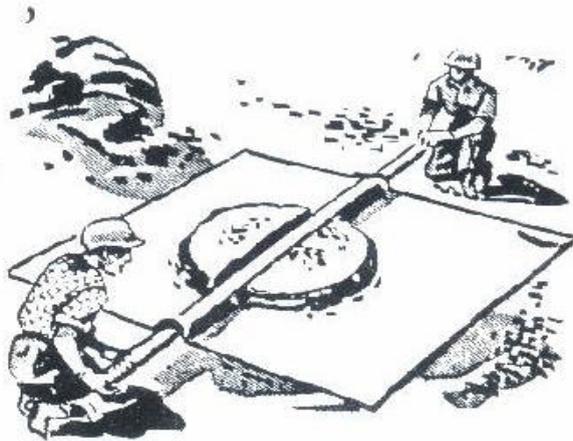
**3.3** Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.

**3.4** Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

1



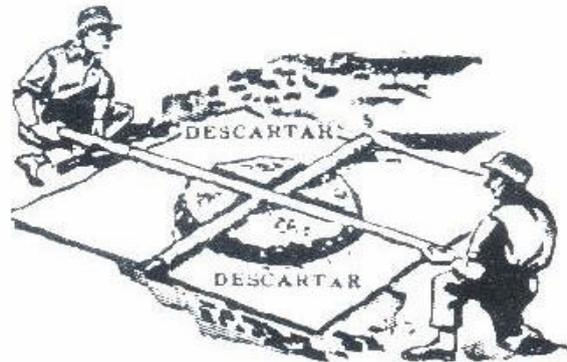
3

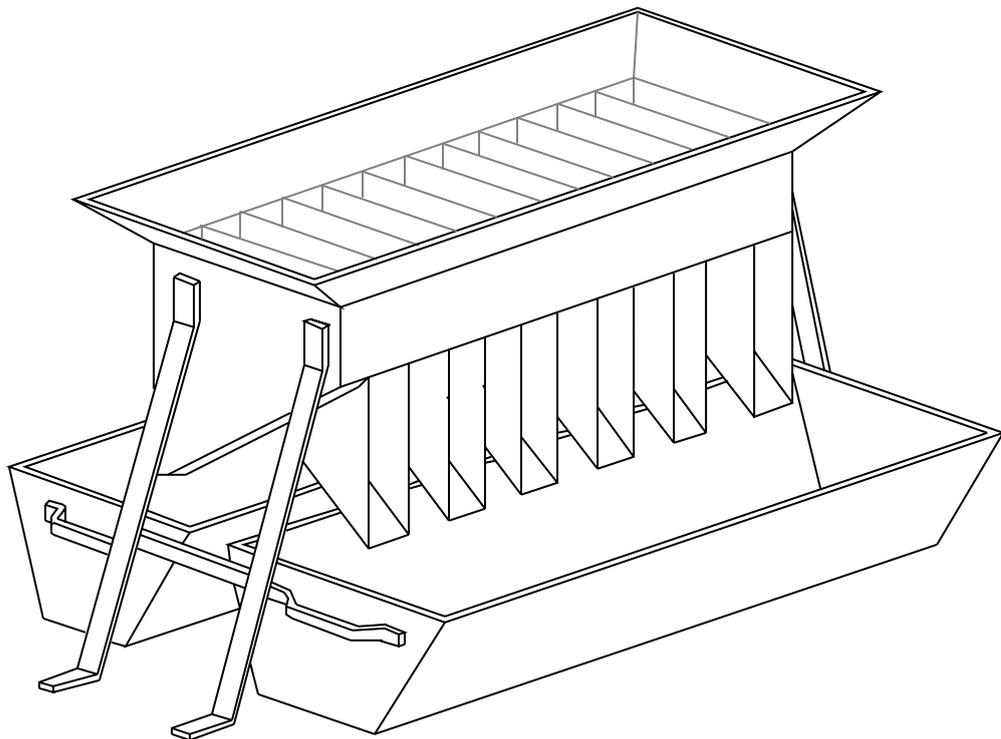
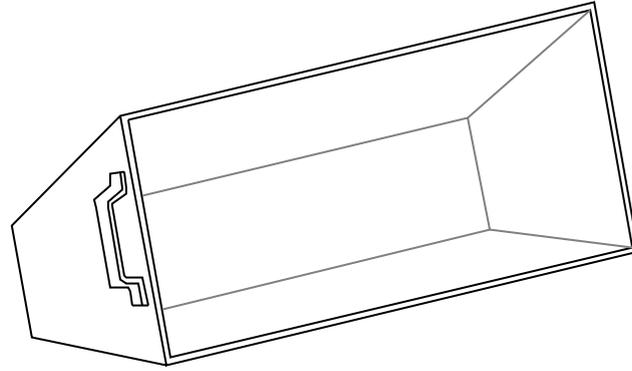


2



4







### 8.202.3 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRIA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los pétreos. Es aplicable a los pétreos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

\* EL Método 8.202.3 es una adaptación de la norma NCh 165 of. 77.

#### 2. Referencias.

- Método 8.202.1 Agregados pétreos: método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.202.4 Agregados pétreos: método para determinar el material fino menor que 0,080 mm.
- Norma NCh 1022 Tamices de ensaye de tela de alambre y de plancha perforada - Dimensiones nominales de abertura.
- Norma NCh 165 Aridos. Tamizado y determinación de la granulometría.

#### 3.- Terminología.

**3.1 Granulometría.** Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un pétreo.

**3.2 Porcentaje Parcial Retenido en un Tamiz.** Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

**3.3 Porcentaje Acumulado Retenido en un Tamiz.** Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

**3.4 Porcentaje Acumulado que Pasa por un Tamiz.** Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

**4.- Resumen del Procedimiento.** Acondicione una muestra de ensaye y determine su masa. Tamice la muestra y determine la masa de las fracciones retenidas en cada tamiz.

Determine los porcentajes parciales retenidos y exprese la granulometría en función de dichos porcentajes.

#### 5.- Aparatos.

**5.1 Balanza.** Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una resolución de 0,1 g.

#### 5.2 Tamices.

- a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, de acuerdo con NCh 1022, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en Tabla 8.202.3.A.

**TABLA 8.202.3.A**  
**SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS**

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
80	(3")
63	(2 1/2")
50	(2")
40	(1 1/2")
25	(1")
20	(3/4")
12,5	(1/2")
10	(3/8")
6,3	(1/4")
5	(N° 4)
2,5	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,25	(N° 16)
0,630	(N° 30)
0,315	(N° 50)
0,160	(N° 100)
0,080	(N° 200)

**Nota 1:** Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

- b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.
- c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

**5.3 Horno.** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**5.4 Herramientas y Accesorios.** Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

**6.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

**Nota 2:** Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

**7.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**7.1** Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con el Método 8.202.2, hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en el punto 8.

**7.2** No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.

**7.3** Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .

## 8.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.

### 8.1 Para el Arido Fino.

- a) Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla 8.202.3.B.

**TABLA 8.202.3.B**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE DEL ARIDO FINO**

Tamiz	% retenido	Masa mínima de la muestra (g)
5 mm	≤ 5 %	500
2,5 mm	≤ 5 %	100

- b) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla 8.202.3.B podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 8.1c).
- c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm<sup>2</sup> de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

### 8.2 Para los Aridos Gruesos.

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla 8.202.3.C.

**TABLA 8.202.3.C**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE DEL ARIDO GRUESO**

Tamaño máximo absoluto (Da) (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
80	32
63	25
50	20
40	16
25	10
20	8
12,5	5
10	4

- b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 5 mm o 2,5 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones. Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 8.1 y 8.2, respectivamente.
- c) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla 8.202.3.C podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 8.2 d).
- d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

## 9.- Ensaye.

- 9.1 Preparación de Tamices.** Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el

depósito receptor y provistos de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

## 9.2 Tamizado. Efectúelo en dos etapas:

- a) Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- b) Un tamizado final que debe ser manual.

**Nota 3:** Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0,080 mm de acuerdo con el Método 8.202.4, y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100% la pesada de la muestra de ensaye en estado seco previa al tamizado húmedo.

## 9.3 Tamizado Inicial.

- a) Determine la masa de la muestra de ensaye en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa:
- b) Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 9.4 g).

## 9.4 Tamizado Final.

- a) Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa
- b) Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado
- c) Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- d) Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.
- e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
- f) Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.
- g) Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
- h) Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

**Nota 4:** Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa.

**9.5 Determinación de la Masa.** Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

## 10.- Expresión de Resultados.

**10.1** Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 9.3 en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.

**10.2** Cuando no se cumpla con lo especificado en 10.1, rechace el ensaye y efectúe otro con una muestra gemela.

**10.3** Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.

**10.4** Expresé la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.

**10.5** Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:

- a) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.
- b) Como porcentaje parcial retenido.

**11.- Expresión Gráfica.** La expresión gráfica de la granulometría de un pétreo se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 10.4 y 10.5.



## **8.202.4 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,080 mm\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,080 mm en los pétreos.

Este método se aplica al ensaye de pétreos de densidad neta de 2.000 a 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y tratamientos superficiales. Es aplicable a materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

\*El Método 8.202.4 es una adopción de la norma NCh 1223 of. 77.

**2.- Terminología.** Algunos de los términos empleados en este método aparecen definidos en la Especificación 8.201.1.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Acondicione una muestra de ensaye y determine su masa inicial. Separe el material fino inferior que 0,080 mm mediante lavado y tamizado. La pérdida de material respecto a la masa inicial se expresa como porcentaje de material fino inferior que 0,080 mm.

### **4.- Aparatos.**

**4.1 Balanza.** Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensaye más el recipiente de pesaje y una resolución de 0,1 g.

**4.2 Tamices.** Serán dos tamices, el superior de 1,25 mm y el inferior de 0,080 mm; debiendo cumplir con las especificaciones de NCh 1022.

**4.3 Recipiente para Lavado.** Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensaye completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.

**4.4 Horno.** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**4.5 Herramientas y Accesorios.** Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

**5.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

### **6.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**6.1** Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con el Método 8.202.2, hasta obtener, cuando esté seca, el tamaño de muestra de ensaye que se indica en el punto 7. No se debe reducir cuando la muestra esté en estado seco, ni tampoco reducir hasta una masa exacta predeterminada.

**6.2** Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** La muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en Tabla 8.202.4.A, de acuerdo al tamaño máximo nominal del pétreo.

**TABLA 8.202.4.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

<b>Tamaño máximo nominal del pétreo (mm)</b>	<b>Masa mínima de la muestra seca (g)</b>
40 ó más	5.000
20	2.500
10	2.000
5	500
2,5	100

### 8.- Ensaye.

**8.1** Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensaye en estado seco (B), aproximando a 0,1 g para los pétreos finos y a 1 g para los pétreos gruesos o integral.

**8.2** Coloque la muestra de ensaye en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.

**Nota 1:** Al agua no deben agregarse detergentes, agentes diluyentes o floculantes ni otras sustancias.

**8.3** Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.

**8.4** Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.

**8.5** Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.

**8.6** Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.

**8.7** Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**8.8** Pese y registre la masa de la muestra de ensaye lavada y seca (C), aproximando a 0,1 g para los pétreos finos y a 1 g para los pétreos gruesos e integral.

### 9.- Expresión de los Resultados.

**9.1** Calcule el contenido de material fino inferior que 0,080 mm aproximando a 0,1%, según la fórmula siguiente:

$$A(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

donde:

A : Contenido de material fino inferior que 0,080 mm (%).

B : Masa inicial de la muestra de ensaye seca (g).

C : Masa de la muestra de ensaye lavada y seca (g).

**9.2** Cuando el pétreo contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el Método correspondiente y descúntelo del resultado obtenido en 9.1.

**10.- Informe.** El informe incluirá lo siguiente:

- a)** Nombre del contrato y contratista.
- b)** Clase de pétreo.
- c)** Procedencia de la muestra.
- d)** Resultado del ensaye.
- e)** Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo.
- f)** Referencia a este método.



## **8.202.5 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA DEL FILLER\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** El método tiene por objeto el análisis, por medio de tamices, del filler empleado en materiales componentes de mezclas para pavimentos bituminosos.

\*El Método 8.202.5 es una adopción de la norma AASHTO T 37 – 77.

### **2.- Equipo Necesario.**

**2.1 Balanza.** Una balanza con legibilidad de 0,1 g.

**2.2 Tamices.** Los Tamices empleados serán los correspondientes a 0,630, 0,315 y 0,080 mm de la Tabla 8.202.3.A del Método 8.202.3.

**2.3 Horno.** El horno será capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**3.- Muestras.** La muestra para este ensaye se obtiene por cuarteo o mediante una sacamuestras a fin de lograr una muestra representativa del material por ensayar. Se necesitan alrededor de 50 g de material seco para cada ensaye.

**4.- Secado de la Muestra.** La muestra se debe secar hasta que tenga un peso constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**5.- Procedimiento.** Después de secar y pesar, coloque la muestra sobre el tamiz 0,630, previamente montado sobre los tamices 0,315 y 0,080. El material debe lavarse mediante un chorro de agua; el lavado continúa hasta que el agua emerja clara. Seque el residuo en cada tamiz hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . El peso del material retenido en cada tamiz se refiere como porcentaje de la muestra original.

**6.- Informe.** Informe el resultado del análisis granulométrico como el porcentaje total que pasa cada tamiz, aproximando al 0,5%.



## **8.202.6 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTICULAS**

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un pétreo retenida en el tamiz 5 mm.

**1.2** Es aplicable a todos aquellos suelos granulares, áridos y agregados pétreos que se emplean en la construcción de las diferentes capas que conforman un pavimento, cuando las especificaciones de obra así lo estipulen.

### **2.- Referencias.**

- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.202.3 Agregados pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.

### **3.- Terminología.**

**3.1 Chancado.** Partícula pétreo, preparada por métodos mecanizados (chancadores), que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista.

**3.2 Arista.** Línea que resulta de la intersección de dos superficies fracturadas.

**Nota 1:** No se considerarán como chancado a aquellas partículas que aún teniendo dos o más caras fracturadas, presenten sus cantos redondeados.

**3.3 Rodado.** Partícula pétreo que no posee aristas.

**3.4 Laja.** Partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máxima y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

**4.- Resumen del Procedimiento.** Tome una muestra representativa del material retenido en el tamiz 5 mm. Determine la masa de chancado, rodado y laja. Calcule el porcentaje de cada una de estas fracciones presentes en la muestra.

### **5.- Equipo.**

**5.1 Balanza.** De capacidad superior a la masa de la muestra de ensaye y una resolución de 0,1 g.

**5.2 Horno.** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**5.3 Pie de Metro.** Graduado en décimas de mm.

**5.4 Tamices.** De 5 y 20 mm.

**5.5 Accesorios.** Recipientes metálicos, poruña, espátula, brocha, etc.

### **6.- Extracción y Acondicionamiento de la Muestra.**

**6.1** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con el Método 8.202.1. El tamaño de la muestra será tal que la masa de la fracción retenida en el tamiz 5 mm cumpla con lo indicado en la Tabla 8.202.6.A.

**TABLA 8.202.6.A**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA DE ENSAYE**

Tamaño Máximo Absoluto de las partículas ( mm )	Masa mínima de muestra ( g )
50	2.000
25	1.000
20	500
12,5 y menor	250

**6.2** Separe mediante tamizado la muestra ya acondicionada en las siguientes fracciones: entre 5 y 20 mm y sobre 20 mm. En caso que la masa de algunas de estas fracciones represente un porcentaje inferior al 5% de la masa total de la muestra, considere la muestra de ensaye como una sola fracción.

**6.3** Seque ambas fracciones hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .

#### **7.- Procedimiento de Ensaye.**

**7.1** Determine la masa de las fracciones y designelas como  $A_i$ .

**7.2** Para cada fracción determine visualmente y separe las partículas chancadas y rodadas.

**7.3** De la fracción chancada, determine con un pie de metro la laja y registre la masa de chancado sin laja como  $B_i$  y la masa de laja como  $D_i$ .

**7.4** De la fracción rodada, determine con un pie de metro la laja y registre la masa de la partícula rodada sin laja como  $C_i$  y la masa de laja como  $E_i$ .

**Nota 2:** Todas las determinaciones de masas deben aproximarse a 0,1 g.

#### **8.- Cálculos Parciales.**

**8.1 Chancado.** Calcule el porcentaje de partículas chancadas de cada fracción de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Ch}_i(\%) = \frac{B_i + D_i}{A_i} \times 100$$

**8.2 Rodado.** Calcule el porcentaje de partículas rodadas de cada fracción de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{R}_i(\%) = \frac{C_i + E_i}{A_i} \times 100$$

**8.3 Lajas.** Calcule el porcentaje de lajas de cada fracción de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{L}_i(\%) = \frac{D_i + E_i}{A_i} \times 100$$

donde, para cada fracción:

- A<sub>i</sub> : Masa de la fracción (g).
- B<sub>i</sub> : Masa de chancado (g).
- C<sub>i</sub> : Masa de partícula rodada (g).
- D<sub>i</sub> : Masa de laja chancada (g).
- E<sub>i</sub> : Masa de laja rodada (g).

**Nota 3:** Los porcentajes de chancado, rodado y lajas para cada fracción deben expresarse aproximando a un decimal.

## 9.- Cálculos Finales.

**9.1 Chancado.** Calcule el porcentaje de chancado total ( Ch<sub>T</sub> ) de la muestra mediante la siguiente expresión, aproximando el resultado a números enteros.

$$Ch_T = Ch_{20} \times P_{20} + Ch_5 \times P_5$$

donde:

- Ch<sub>20</sub> : Porcentaje de chancado de la fracción retenida en 20 mm.
- Ch<sub>5</sub> : Porcentaje de chancado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm.
- P<sub>20</sub> : Factor de ponderación de la fracción retenida en 20 mm, referido al total de la muestra de ensaye. Se expresa en forma decimal.
- P<sub>5</sub> : Factor de ponderación de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm, referido al total de la muestra de ensaye. Se expresa en forma decimal.

Determine los factores de ponderación P<sub>20</sub> y P<sub>5</sub> a partir de la granulometría del material. La suma de ellos por definición es igual a 1. Se calculan a través de las siguientes expresiones:

$$P_{20} = \frac{100 - \% \text{ que pasa en 20 mm}}{100 - \% \text{ que pasa en 5 mm}}$$

$$P_5 = \frac{\% \text{ que pasa en 20 mm} - \% \text{ que pasa en 5 mm}}{100 - \% \text{ que pasa en 5 mm}}$$

**Nota 4:** Los factores de ponderación P<sub>20</sub> y P<sub>5</sub> deben expresarse aproximando al tercer decimal. Una vez calculados es recomendable verificar que su suma sea igual a la unidad.

**9.2 Rodado.** Calcule el porcentaje de rodado total ( R<sub>T</sub> ) de la muestra mediante la siguiente expresión, aproximando el resultado a números enteros.

$$R_T = R_{20} \times P_{20} + R_5 \times P_5$$

donde:

- R<sub>20</sub> : Porcentaje de rodado de la fracción retenida en 20 mm.
- R<sub>5</sub> : Porcentaje de rodado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm.
- P<sub>20</sub> y P<sub>5</sub> : Factores de ponderación definidos y calculados como se indica en 9.1.

**9.3 Laja.** Calcule el porcentaje de laja total ( L<sub>T</sub> ) de la muestra mediante la siguiente expresión, aproximando el resultado a números enteros:

$$L_T = L_{20} \times P_{20} + L_5 \times P_5$$

donde:

- L<sub>20</sub> : Porcentaje de laja de la fracción retenida en 20 mm.
- L<sub>5</sub> : Porcentaje de laja de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm.
- P<sub>20</sub> y P<sub>5</sub> : Factores de ponderación definidos y calculados como se indica en 9.1.

**10.- Ejemplo de Cálculo.** Para fines prácticos y didácticos se incluye en esta sección un ejemplo completo de cálculo de porcentaje de chancado, rodado y laja, utilizando los procedimientos descritos en el presente método.

El ejemplo se desarrolla para una muestra de base de TMA = 40 mm, material que recibirá como capa de rodadura un doble tratamiento superficial.

### 10.1 Granulometría del Material.

Tamiz ( mm )	% Que Pasa
40	100
25	87
20	70
10	59
5	48
2,5	27
1,25	15
0,08	6

### 10.2 Determinaciones de Masas.

- Masa total muestra de ensaye = 2.681,4 g ( material retenido en 5 mm )
- Masa de la fracción retenida en 20 mm = A<sub>20</sub> = 1.496,8 g
- Masa de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm = A<sub>5</sub> = 1.184,6 g
- Masa de chancado de la fracción retenida en 20 mm = B<sub>20</sub> = 1.008,2 g
- Masa de laja chancada de la fracción retenida en 20 mm = D<sub>20</sub> = 57,5 g
- Masa de chancado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm = B<sub>5</sub> = 808,3 g
- Masa de laja chancada de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm = D<sub>5</sub> = 97,9 g
- Masa de rodado de la fracción retenida en 20 mm = C<sub>20</sub> = 410,4 g
- Masa de laja rodada de la fracción retenida en 20 mm = E<sub>20</sub> = 20,7 g
- Masa de rodado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm = C<sub>5</sub> = 253,6 g
- Masa de laja rodada de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm = E<sub>5</sub> = 24,8 g

### 10.3 Cálculos Parciales.

- Porcentaje de chancado de la fracción retenida en 20 mm:

$$Ch_{20} = \frac{B_{20} + D_{20}}{A_{20}} \times 100 = 71,2\%$$

- Porcentaje de chancado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm:

$$Ch_5 = \frac{B_5 + D_5}{A_5} \times 100 = 76,5\%$$

- Porcentaje de rodado de la fracción retenida en 20 mm:

$$R_{20} = \frac{C_{20} + E_{20}}{A_{20}} \times 100 = 28,8\%$$

- Porcentaje de rodado de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm:

$$R_5 = \frac{C_5 + E_5}{A_5} \times 100 = 23,5\%$$

- Porcentaje de laja de la fracción retenida en 20 mm:

$$L_{20} = \frac{D_{20} + E_{20}}{A_{20}} \times 100 = 5,2\%$$

- Porcentaje de laja de la fracción que pasa por 20 mm y es retenida en 5 mm:

$$L_5 = \frac{D_5 + E_5}{A_5} \times 100 = 10,4\%$$

#### 10.4 Cálculos Finales.

- a) Cálculo de los factores de ponderación.

$$P_{20} = \frac{100 - \% \text{ que pasa } 20 \text{ mm}}{100 - \% \text{ que pasa } 5 \text{ mm}} = 0,577$$

$$P_5 = \frac{\% \text{ que pasa } 20 \text{ mm} - \% \text{ que pasa } 5 \text{ mm}}{100 - \% \text{ que pasa } 5 \text{ mm}} = 0,423$$

**b)** Cálculo del chancado total, rodado total y laja total.

$$Ch_T = Ch_{20} \times P_{20} + Ch_5 \times P_5 = 73 \%$$

$$R_T = R_{20} \times P_{20} + R_5 \times P_5 = 27 \%$$

$$L_T = L_{20} \times P_{20} + L_5 \times P_5 = 7 \%$$

**Nota 5:** De acuerdo a la metodología utilizada la suma del chancado total y de rodado total siempre será de 100%.

**11.- Informe.** El informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Granulometría del material.
- d) Valores totales de chancado, rodado y laja.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al material analizado.
- f) Referencia a este método.

## 8.202.7 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE LAJAS

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

- 1.1 Este método establece el procedimiento para determinar el Índice de Lajas de un agregado pétreo.
- 1.2 Este índice se emplea principalmente en agregados para tratamientos superficiales.
- 1.3 Se define Índice de Lajas como el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerada.
- 1.4 Este método es aplicable a áridos de tamaño máximo absoluto igual o superior a 6,3 mm.

### 2.- Referencias.

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.3 Agregados pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.
- NLT 354/74 Índice de lajas y de agujas de los áridos para carreteras.

### 3.- Equipos.

- 3.1 **Balanza.** De capacidad superior a la masa de la muestra de ensaye y una resolución de 0,1 g.
- 3.2 **Horno.** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.
- 3.3 **Pie de Metro Metálico.** Graduado en décimas de mm.
- 3.4 **Juego de Tamices.** Según banda granulométrica especificada.
- 3.5 **Otros:** Bandejas, pailas, brochas, poruñas, etc.

### 4.- Extracción y Acondicionamiento de la Muestra.

- 4.1 Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con el Método 8.202.1. La cantidad mínima de muestra se indica en la Tabla 8.202.7.A, de acuerdo al tamaño máximo absoluto del agregado.

**TABLA 8.202.7.A**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA DE ENSAYE**

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Masa Mínima (g)
40	16.000
25	10.000
20	8.000
12,5	5.000
10	4.000
6,3	3.000

- 4.2 Seque la muestra, pésela y determine su distribución granulométrica de acuerdo con el Método 8.202.3.

## 5.- Procedimiento y Cálculos Parciales.

**5.1** Las fracciones a considerar para el ensaye son las siguientes: 40 – 25 mm, 25 - 20 mm, 20 - 12,5 mm, 12,5 - 10 mm, 10 - 6,3mm y 6,3 – 5 mm.

**5.2** Obtenga por cuarteo una cantidad mínima de 100 partículas de cada fracción y registre su peso como  $M_{Ti}$ , aproximando a 0,1 g.

**Nota 1:** Cuando se obtenga una cantidad de material menor que el 5% en cualquier fracción, se puede omitir la determinación correspondiente sin que el resultado cambie apreciablemente.

**5.3** Repita para cada fracción los pasos que a continuación se indican:

**a)** Fije la abertura del pie de metro ( $A_i$ ) en 0,6 veces su dimensión media, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{(T_{Si} + T_{Ii})}{2} \times 0,6$$

donde:

- $A_i$  : Abertura del pie de metro para la fracción i (mm).
- $T_{Si}$  : Abertura del tamiz superior de la fracción i (mm).
- $T_{Ii}$  : Abertura del tamiz inferior de la fracción i (mm).

**b)** Haga pasar cada una de las partículas a través de la abertura del pie de metro.

**c)** Pese el total de partículas que pasan por la abertura del pie de metro y registre como  $M_{Pi}$ , aproximando a 0,1 g.

**d)** Calcule el Índice de Lajas de la fracción i ( $IL_i$ ) de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando a un decimal:

$$IL_i = \frac{M_{Pi}}{M_{Ti}} \times 100$$

donde:

- $IL_i$  : Índice de Lajas de la fracción i (%).
- $M_{Pi}$  : Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para la fracción i (g).
- $M_{Ti}$  : Masa total de ensaye de la fracción i (g).

**6.- Cálculo Final.** El Índice de Lajas del agregado pétreo (IL) se obtiene de la siguiente expresión, aproximando al entero:

$$IL = \frac{\sum (IL_i \times R_i)}{\sum R_i}$$

donde:

- IL : Índice de Lajas del agregado (%).
- $IL_i$  : Índice de Lajas de la fracción i (%).
- $R_i$  : Porcentaje parcial retenido de la fracción i (%), aproximado al entero.

## 7.- Ejemplo de Cálculo.

### 7.1 Análisis granulométrico de una muestra de 6.170 g de gravilla 3/8"

Tamices (mm)	Retenido (g)	Pasa (g)	Porcentaje Que Pasa (%)	Porcentaje Parcial Retenido $R_i$ (%)
40				
25				
20				
12,5	0	6.170	100	0
10	443	5.727	93	7
6,3	2.401	3.326	54	39
5	1.803	1.523	25	29
2,5	1.458	65	1	24
1,25				
0,08	37	28	0,5	0,5

### 7.2 Índice de Lajas de cada fracción.

Tamices (mm)	Abertura del pie de metro (mm)	Masa Retenida (g)	Masa Que Pasa [ $M_{Pi}$ ] (g)	Masa Total de Ensaye [ $M_{Ti}$ ] (g)	Índice de Lajas de cada fracción [ $IL_i$ ] (%)
40 – 25	19,5				
25 – 20	13,5				
20 – 12,5	9,75				
12,5 – 10	6,75	362	84	443	18,8
10 – 6,3	4,9	225	66	291	22,7
6,3 – 5	3,4	82	25	107	23,4

### 7.3 Índice de Lajas del Agregado Pétreo.

$$IL = \frac{18,8 \times 7 + 22,7 \times 39 + 23,4 \times 29}{75} = 23\%$$

## 8.- Informe. El informe debe incluir:

- Nombre del contrato y del contratista.
- Identificación y procedencia de la muestra.
- Resultado del Índice de Lajas.
- Cualquier otra información específica relativa al ensaye, o al agregado pétreo utilizado
- Referencia a este método.



## 8.202.8 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE TRITURACION

**1.- Introducción.** El método 8.202.8 es una adaptación parcial de los aspectos pertinentes de la norma británica BS-812-75; pretende medir la resistencia a la desintegración física de los áridos gruesos (40-10 mm) y finos (10 – 0,630 mm) de acuerdo a los cortes granulométricos y métodos que se indican en Tabla 8.202.8.A.

**TABLA 8.202.8.A  
CORTES DE LAS GRANULOMETRIAS**

Métodos de Ensaye	Material		Tamices en mm para	
	Tipo	Grado	Corte	Finos producidos
Compresión	Grueso	40	40 - 20	5
		20	20 - 10	2,5
Impacto	Fino	10	10 - 5	1,25
		5	5 - 2,5	0,630
		2,5	2,5 - 1,25	0,315
		1,25	1,25 - 0,630	0,160

### 2.- Índice de Trituración de los Aridos Gruesos.

**2.1 Alcances y Campo de Aplicación.** Se define un procedimiento para determinar el valor del "Índice de Trituración" por Compresión de un árido grueso, confinado en un molde y sometido a la acción de una carga gradual de compresión. Se utiliza tanto como complemento del ensaye de Desgaste Los Angeles o para sustituirlo cuando no se disponga de éste.

**2.2 Equipo.** Para el ensaye se requiere el siguiente equipo:

- Un cilindro de acero de pared gruesa, abierto en sus dos extremos, de 150 mm de diámetro interno y 100 mm de alto, con un plato de acero liso para base y un émbolo de la forma y dimensiones que se señalan en la Lámina 8.202.8.A, Figura 1.
- Una varilla de acero de 16 mm de diámetro por 600 mm de largo, con un extremo redondeado.
- Una balanza de 5 kg, con resolución de 1 g.
- Tamices de 40 - 20 - 10 - 5 y 2,5 mm.
- Una máquina de compresión, de 400 kN o más de capacidad y velocidad regulable.

**2.3 Preparación de la Muestra.** El material por ensayar, aproximadamente 20 kg, deberá estar seco. Si no lo estuviera, séquelo al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  hasta masa constante. Una vez seco déjelo enfriar hasta temperatura ambiente. Tamice y corte el material en los tamices indicados en la Tabla 8.202.8.A.

### 2.4 Ejecución del Ensaye.

- Por cada corte de material se efectúan dos ensayes, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego enrase y pese, determinando el peso de la muestra (A).
- Enseguida, coloque el molde con su base en la máquina de ensaye. Sobre la carga confinada coloque el pistón en posición horizontal.
- Aplice la carga de compresión en forma lenta y gradual, de modo de alcanzar el total de la carga de 400 kN en 10 min.

- e) Finalizado el ensaye, levante la carga y tamice el material ensayado para separar el fino, por los tamices indicados en la Tabla 8.202.8.A.
- f) Pese cuidadosamente el material retenido ( C ) y el material fino que pasó (B).

### 3.- Índice de Trituración de los Aridos Finos.

**3.1 Alcances y Campo de Aplicación.** Se define un procedimiento para determinar el valor del “Índice de Trituración” de un árido fino sometido a la acción de impactos repetidos, en situación de confinamiento, ensaye que equivaldría al de Desgaste Los Angeles para las graduaciones menores que el grado 7.

**3.2 Equipo.** Para este ensaye se requiere del siguiente equipo:

- a) Una máquina para impacto, con un martinete de  $14 \pm 0,2$  kg, como se indica en la Lámina 8.202.8.A, Figura 2.
- b) Un molde de acero, con base soldada, de 102 mm de diámetro interno, 51 mm de alto y 6,5 mm de espesor de pared.
- c) Una varilla de acero de 10 mm de diámetro por 230 mm de largo, redondeada en un extremo
- d) Tamices de 10 – 5 – 2,5 – 1,25 – 0,630 – 0,315 y 0,160 mm.

**3.3 Preparación de la Muestra.** Para el ensaye, el material debe encontrarse seco; si no lo estuviera, séquelo a  $110 \pm 5^\circ$  C hasta masa constante.

El material por ensayar, aproximadamente 12 kg, debe tamizarse y cortarse en los tamices indicados en la Tabla 8.202.8.A para los grados 2,5 y 1,25 mm, que son obligatorios. El ensaye para los grados 10 y 5 mm es optativo, y debe hacerse cuando los valores del Índice de Trituración obtenidos en los grados obligatorios difieran mucho entre sí.

### 3.4 Ejecución del Ensaye.

- a) Por cada corte de material se efectúan dos ensayes, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- b) Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego, enrase y pese.
- c) Enseguida, asegure el molde en la base de la máquina y dé 15 golpes con el martinete, en caída libre desde 380 mm de altura, espaciados en un tiempo total de 15 s.
- d) Pese de nuevo la muestra determinando el peso de la muestra (A) y luego separe los finos por el tamiz que corresponda al grado, de acuerdo a la Tabla 8.202.8.A.
- e) Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material que pasó por el tamiz correspondiente (B).

**Nota 1:** Se considera el peso de muestra inicial después de aplicar los golpes con el martinete, debido a las pérdidas de material que se producen producto de los golpes.

## 4.- Cálculos.

**4.1 Cálculo del Índice de Trituración Parcial (IT<sub>p</sub>)** Con los datos:

A : Peso de la muestra por ensayar (g).

B : Peso del material que pasó por el tamiz de finos producidos (g)

Calcule el IT<sub>p</sub> de acuerdo a la expresión:

$$IT_p (\%) = \frac{B}{A} \times 100$$

**4.2 Cálculo del Índice de Trituración Total (IT<sub>t</sub>).** Conocidos los valores de IT<sub>p</sub> de cada grado, calcule los IT<sub>t</sub> del árido grueso y del árido fino, ponderando los IT<sub>pi</sub> según los porcentajes que cada fracción retenida (ni) representa de la muestra ensayada.

$$IT_t(\%) = \sum IT_{pi} \times \frac{ni}{100}$$

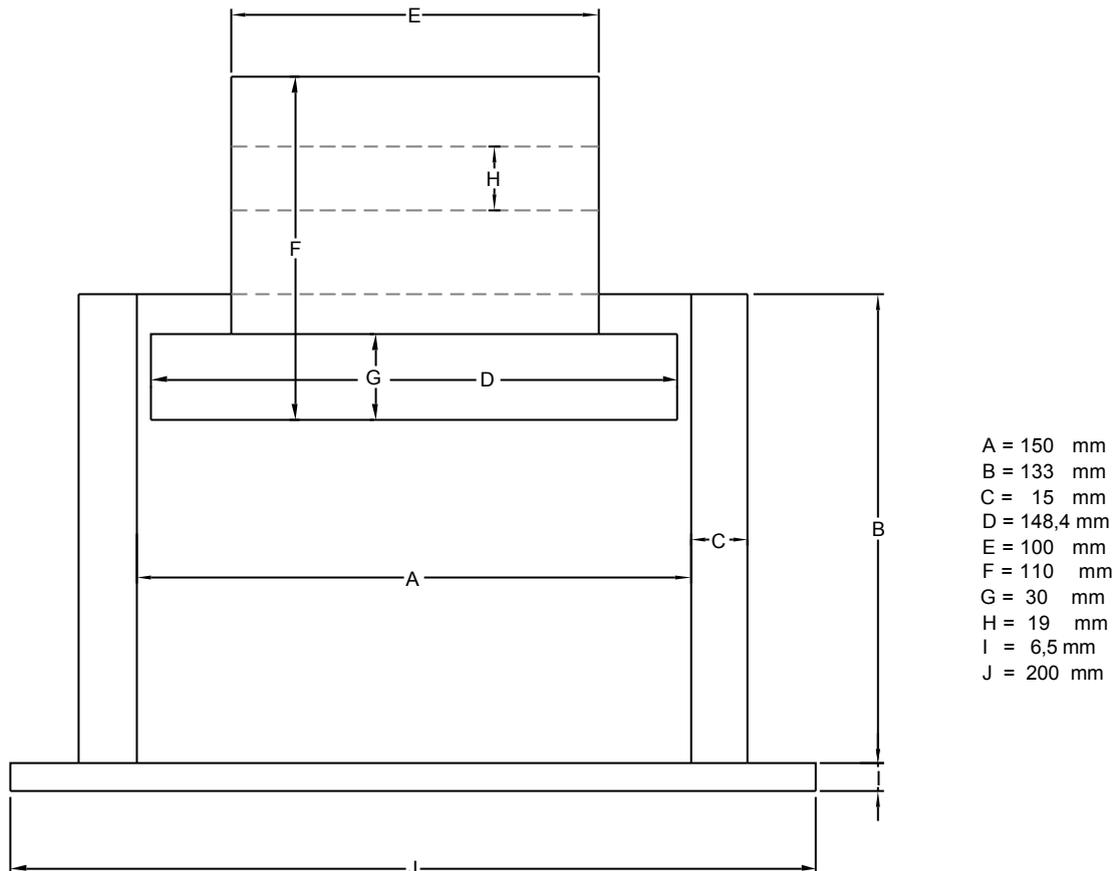


Figura 1.

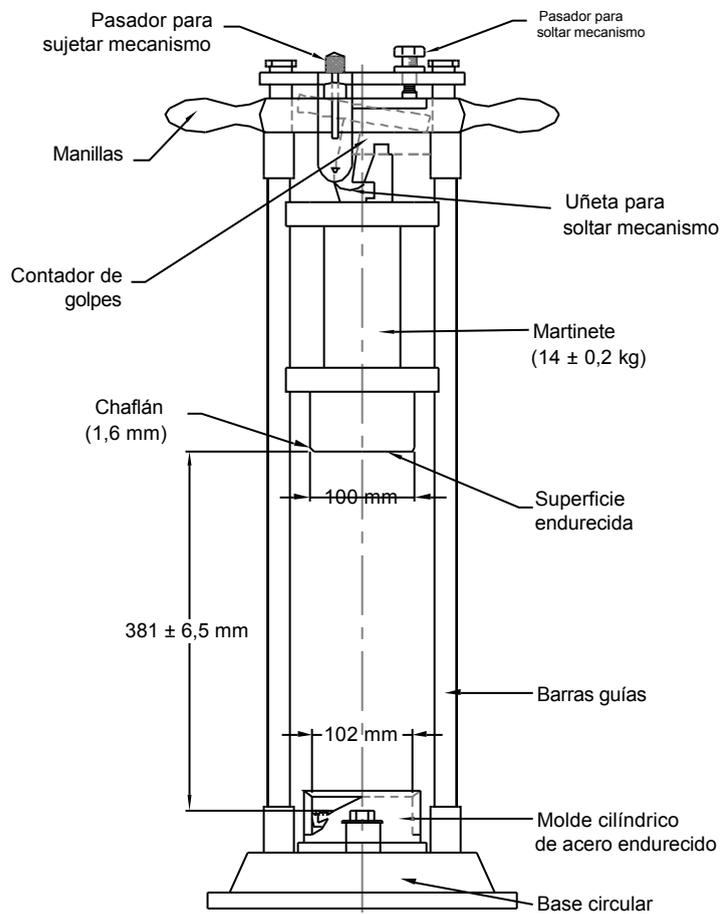


Figura 2.

## 8.202.9 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los pétreos que pasan por tamiz de 5 mm.

\*El Método 8.202.9 es una adopción de la norma NCh 1325 of. 78.

### 2.- Terminología.

**2.1 Equivalente de Arena.** Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

**2.2 Otros Términos.** Otros términos empleados en este método se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Probeta Graduada.** De  $30 \pm 1$  mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduada en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provista de un tapón hermético de caucho (ver Lámina 8.202.9.A, Figura 1).

**3.2 Pisón.** Compuesto por los siguientes elementos (ver Lámina 8.202.9.A, Figura 2).

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de  $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$ .

**3.3 Sifón.** Compuesto por los siguientes elementos (ver Lámina 8.202.9.A, Figura 3):

- a) Una botella de aproximadamente 4 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
- b) Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
- c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo una pinza con tornillo).
- d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo,  $4 \pm 1$  mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de  $0,5 \pm 0,1$  mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

**3.4 Medida.** Un recipiente de  $85 \pm 5$  ml de capacidad.

**3.5 Tamiz.** De tela de alambre y abertura cuadrada, de 5 mm de abertura nominal de acuerdo con el Método 8.202.3.

**3.6 Recipiente.** Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensaye.

**3.7 Agitador Mecánico.** Con un desplazamiento horizontal de  $200 \pm 2$  mm y una velocidad de agitación de  $175 \pm 2$  ciclos/min.

**3.8 Herramientas y Accesorios.** Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

**4.- Reactivos.**

**4.1 Solución Base.**

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

- 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
- 1.085 g de glicerina farmacéutica.
- 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

**4.2 Solución de Ensaye.** Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.

**5.- Lugar de Ensaye.** Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

**6.- Muestreo.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

**7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.**

**7.1** La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 5 mm.

**7.2** La muestra para cada ensaye debe ser igual a una medida llena enrasada ( $85 \pm 5$  ml).

**8.- Preparación de la Muestra de Ensaye.**

**8.1 Tamizado.** Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 5 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

**8.2 Reducción.** Reduzca por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

**8.3 Secado.** Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  C; deje enfriar a temperatura ambiente.

**9.- Ensaye.**

**9.1** Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.

**9.2** Sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de  $100 \pm 5$  mm.

**9.3** Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.

**9.4** Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.

**9.5** Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.

- 9.6** Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
- 9.7** Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinándolo y sacudiendo el tubo.
- 9.8** Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
- a)** Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de  $230 \pm 25$  mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 s.
- Nota 1:** Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.
- Nota 2:** Antes de autorizar a un operador para realizar el ensaye de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayes realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de  $\pm 4$  puntos respecto al promedio de esos ensayes. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizarse a efectuar este ensaye hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplen con los límites especificados.
- b)** Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de  $45 \pm 1$  s.
- 9.9** Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- 9.10** Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- 9.11** Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- 9.12** Deje sedimentar por un periodo de 20 min  $\pm$  15 s
- 9.13** Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla ( $N_t$ ), aproximando al milímetro.
- Nota 3:** Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe. Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensaye con muestras del mismo material. Registrar el  $N_t$  que requiera el período de sedimentación más breve.
- 9.14** Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena ( $N_a$ ) aproximando al milímetro.
- Nota 4:** Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como  $N_t$  o  $N_a$ , según corresponda.

## 10.- Expresión de los Resultados.

- 10.1** Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA (\%) = (N_a / N_t) \times 100$$

donde:

- EA : Equivalente de arena (%).  
 $N_a$  : Nivel superior de la arena (mm).  
 $N_t$  : Nivel superior de la arcilla (mm).

**10.2** Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

**11.- Aceptación de Resultados.**

**11.1** Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.

**11.2** Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 11.1.

**12.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Procedimiento de agitación.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha del ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo.
- g) La referencia a este método.

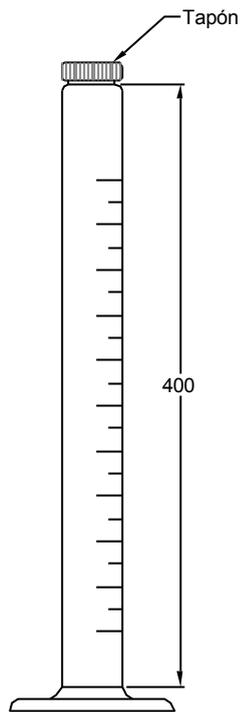


Figura 1.

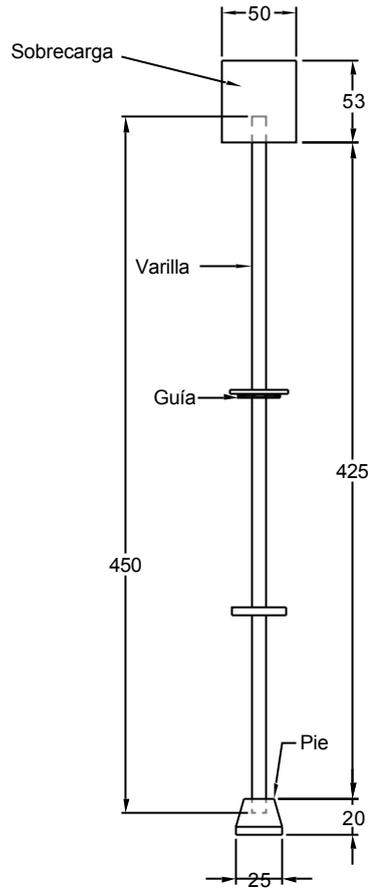


Figura 2.

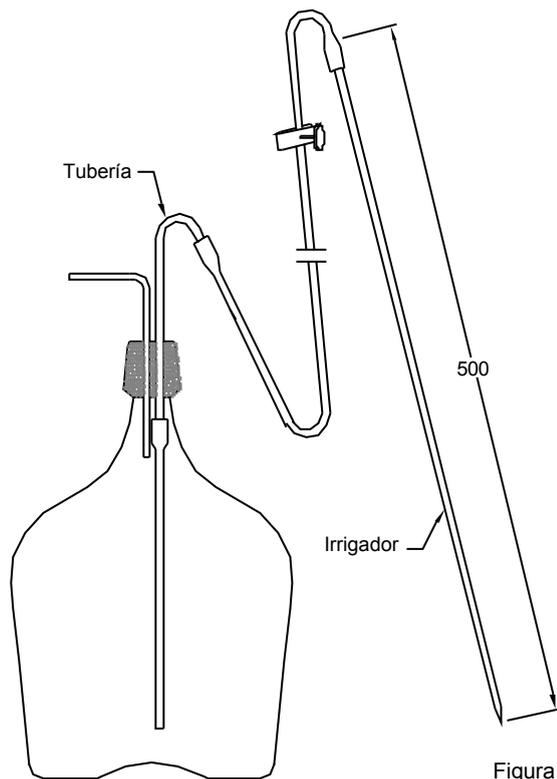


Figura 3.

Dimensiones en mm.



## 8.202.10 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION DE HUECOS\*

**1.- Alcances y campo de Aplicación.** El método establece un procedimiento para determinar el contenido de huecos en los pétreos. Es aplicable a los pétreos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

\* El Método 8.202.10 es una adaptación de la norma NCh 1326 of. 77.

### 2.- Terminología.

**2.1 Huecos.** Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

**2.2 Otros Términos.** Otros términos empleados en este método se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

### 3.- Ensayes.

**3.1** Efectúe la determinación de densidad real seca de acuerdo con el Método 8.202.20 para los pétreos gruesos y con el Método 8.202.21 para los pétreos finos.

**3.2** Efectúe la determinación de densidad aparente de acuerdo con el Método 8.202.19.

**4.- Expresión de Resultados.** Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$H(\%) = \frac{\rho_{RS} - \rho_a}{\rho_{RS}} \times 100$$

donde:

H : Contenido de huecos (%).

$\rho_{RS}$  : Densidad real seca del pétreo, determinada en el punto 3.1 (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_a$  : Densidad aparente del pétreo, determinada en el punto 3.2 (kg/m<sup>3</sup>).

**5.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Resultados del ensaye de densidad real seca, de acuerdo con el Método 8.202.20 u 8.202.21, según corresponda.
- b) Resultados del ensaye de densidad aparente, de acuerdo con el Método 8.202.19.
- c) Contenido de huecos.



## 8.202.11 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES \*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2,5 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup>, mediante la máquina de Los Angeles.

\*El Método 8.202.11, es una adaptación de la Norma NCh 1369-78.

### 2.- Referencias.

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras
- Método 8.201.1 Agregados pétreos: Especificaciones generales para morteros y hormigones.
- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.3 Agregados pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.

**3.- Terminología.** Algunos términos empleados en este método se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

### 4.- Aparatos.

#### 4.1 Máquina de Los Angeles (ver Lámina 8.202.11.A)

- a) Tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N° 50 (0.315 mm).
- b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en  $90 \pm 3$  mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

**Nota 1:** Es preferible utilizar una aleta de acero de sección rectangular montada independientemente de la tapa. Sin embargo, puede emplearse como aleta una de las alas de un perfil L de acero laminado montado en el interior de la tapa, de modo que la carga se reciba por la cara externa del ángulo. Cuando la aleta se deforma debe ser reparada o reemplazada.

- c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

**Nota 2:** Cualquier deslizamiento o punto muerto en el mecanismo de impulsión puede alterar los resultados de ensaye, lo que los hace no comparables con resultados obtenidos en una máquina que produzca una velocidad periférica uniforme.

**4.2 Balanza.** Con una capacidad superior a 10 kg y una resolución de 1 g.

**4.3 Tamices.** Deben cumplir con lo especificado en 5.2 del Método 8.202.3.

**4.4 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**4.5 Esferas (Carga Abrasiva).** Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

## 5.- Muestreo y Preparación.

5.1 Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

5.2 Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con el Método 8.202.3.

6.- **Tamaño de la Muestra.** El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que  $2 D_n$ , en que  $D_n$  es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7.

## 7.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.

7.1 Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C.

7.2 Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con el Método 8.202.3, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,3 mm, 5 mm y 2,5 mm. Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

7.3 Elija de la Tabla 8.202.11.A el grado de ensaye que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensaye el que entregue una mayor suma.

**Nota 3:** En caso que alguna de las fracciones del grado elegido tenga un porcentaje parcial retenido muy bajo, que requiera tamizar una cantidad de material muy alta para componerlo, se considerará como grado de ensaye aquel que entregue la suma de parciales retenidos inmediatamente inferior a la del grado elegido. En el caso del grado 4 se entenderá como porcentaje parcial retenido muy bajo un valor igual o inferior que 4%.

7.4 Cuando se trate de pétreos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensaye correspondiente a dicha banda granulométrica.

## 8.- Ensaye

8.1 Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la Tabla 8.202.11.A. Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra ( $m_i$ ), aproximando a 1 g.

8.2 Coloque la masa inicial de material en la máquina de Los Angeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según Tabla 8.202.11.A.

**Nota 4:** Seleccione las esferas de manera tal que la suma de sus masas individuales cumpla con los valores estipulados en la Tabla 8.202.11.A.

8.3 Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.

8.4 Separe la carga abrasiva.

8.5 Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,5 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).

8.6 Tamice manualmente el material bajo 2,5 mm por tamiz de 1,7 mm (ASTM N° 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 9.4 del Método 8.202.3.

8.7 Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a  $100 \pm 5$  ° C y deje enfriar a temperatura ambiente.

**8.8** Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

**9.- Expresión de los Resultados.** Calcule el desgaste del pétreo como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

donde:

- P : Pérdida de masa de la muestra (%).
- m<sub>i</sub> : Masa inicial de la muestra (g).
- m<sub>f</sub> : Masa final de la muestra (g).

**Nota 5:** Los resultados de ensaye de los grados 1, 2 y 3 con 1.000 revoluciones no tienen relación consistente con los resultados de los grados 4, 5, 6 y 7 con 500 revoluciones y, por lo tanto, no son comparables.

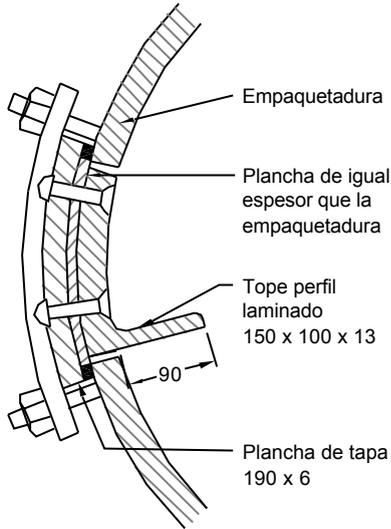
**10.- Informe.** El Informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del contrato y empresa contratista.
- b) Identificación de la muestra (tipo de material, procedencia, lugar y fecha de muestreo).
- c) Grado de ensaye elegido.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha del ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo analizado.
- g) La referencia a este método.

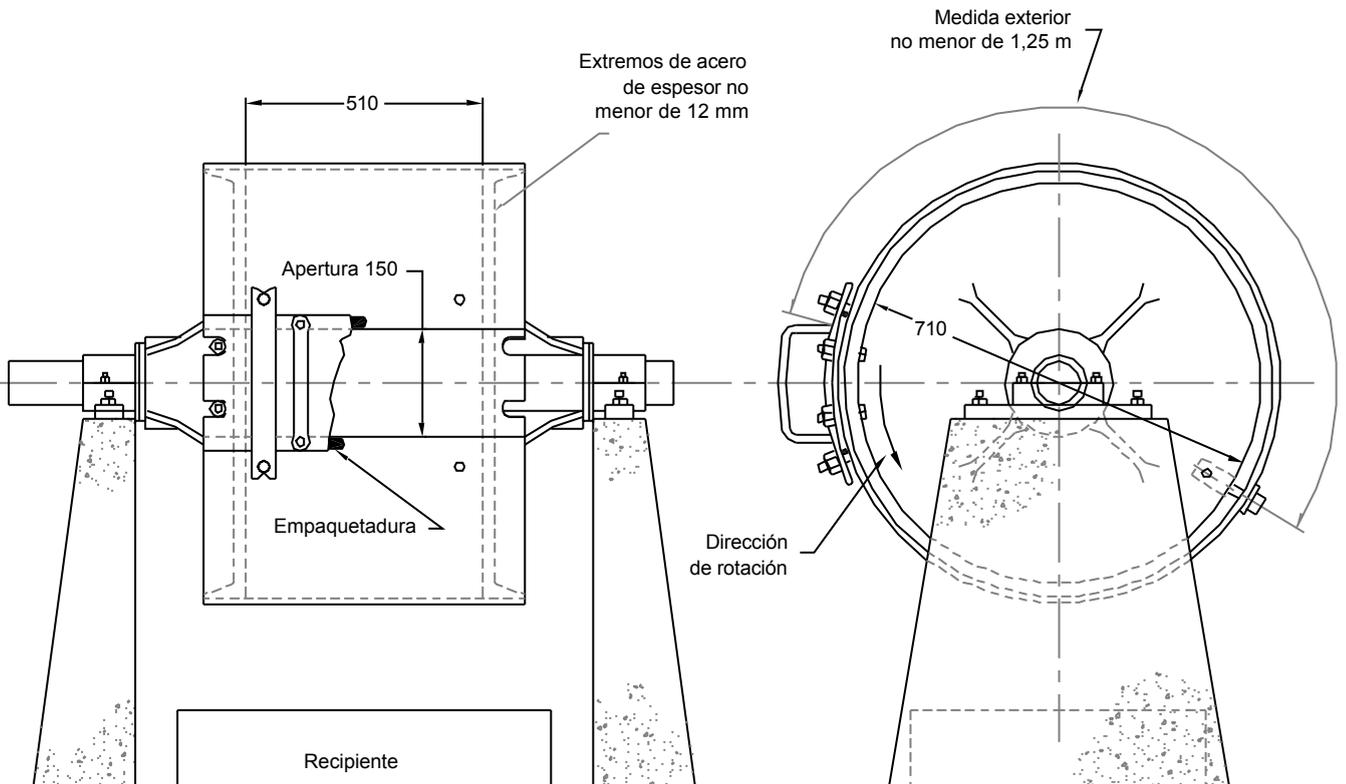
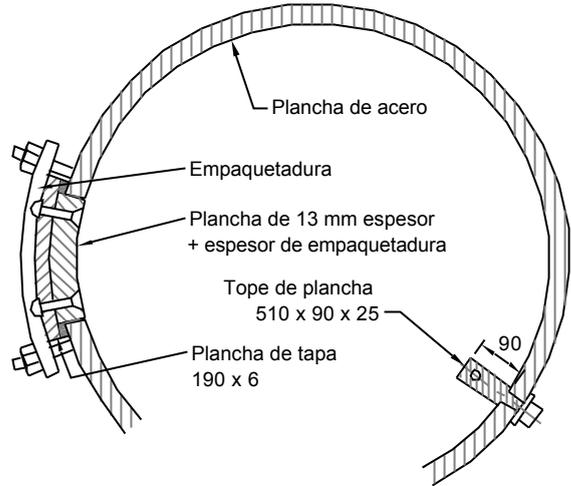
**TABLA 8.202.11.A**  
**GRADOS DE ENSAYE**  
**(DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑOS, en mm)**

Tamaños de partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
80 – 63	2.500 ± 50						
63 – 50	2.500 ± 50						
50 – 40	5.000 ± 50	5.000 ± 50					
40 – 25		5.000 ± 25	5.000 ± 25	1.250 ± 25			
25 – 20			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
20 – 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 – 10				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
10 – 6,3						2.500 ± 10	
6,3 – 5						2.500 ± 10	
5 – 2,5							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12			12	11	8	6
- masa (g)	5.000 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Número de Revoluciones	1.000			500			

DISEÑO ALTERNATIVO CON  
TOPE DE PERFIL LAMINADO



DISEÑO PREFERIDO CON  
TOPE DE PLANCHA



El apoyo del eje estará montado en pilares de hormigón u otros soportes rígidos.

Dimensiones en mm.



## **8.202.12 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMETRICO MEDIO DE LOS PETREOS GRUESOS\***

**1.- Alcances y campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de los pétreos gruesos. Es aplicable a los pétreos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se utilizan en la elaboración de hormigones y mezclas asfálticas.

El método establece dos procedimientos para determinar la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un pétreo: un procedimiento volumétrico, aplicable a los casos corrientes, y un procedimiento gravimétrico, que se utiliza como contraensaye en casos de controversia.

\*El Método 8.202.12 es una adopción de la norma NCh 1511 of.80.

### **2.- Terminología.**

**2.1 Coeficiente Volumétrico de una Partícula.** Cuociente entre el volumen real (V) de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión (N) de esa partícula.

**2.2 Coeficiente Volumétrico Medio (C).** Cuociente entre la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un pétreo y la suma de los volúmenes ( $\sum \pi N_i^3 / 6$ ) de las respectivas esferas circunscritas.

**2.3 Otros Términos.** Se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

### **3.- Aparatos.**

#### **3.1 Aparatos para Determinar V.**

- a) Método volumétrico. Una probeta graduada en cm<sup>3</sup> con una capacidad mínima de 500 cm<sup>3</sup> y un diámetro interior igual o mayor que el tamaño máximo absoluto del pétreo.
- b) Método gravimétrico. Los aparatos indicados en el Método 8.202.20.

**3.2 Aparato para Determinar N<sub>i</sub>.** Un pie de metro.

**4.- Muestreo.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

### **5.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**5.1** Previamente realice el ensaye de tamizado de acuerdo con el Método 8.202.3, registrando el tamaño máximo absoluto (Da).

**5.2** Reduzca por cuarteo el material mayor que 5 mm o 2,5 mm, según sea para hormigón o asfalto respectivamente, al tamaño de la muestra de ensaye que se indica en la Tabla 8.202.12.A.

**TABLA 8.202.12.A**  
**TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

Tamaño máximo absoluto del pétreo, Da (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)
80	1.500
40	500
20	250

**Nota 1:** Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para Da = 50 mm corresponden 750 g de muestra y para Da = 25 mm corresponden 300 g.

## 6.- Ensaye.

**6.1** Determine la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas mediante el procedimiento volumétrico siguiente:

- Acondicione la muestra al estado saturado superficialmente seco, de acuerdo con el Método 8.202.20.
- Coloque en la probeta graduada un volumen de agua que garantice que la muestra va a quedar completamente sumergida. Registre el volumen correspondiente como  $V_1$ , aproximando a  $1 \text{ cm}^3$ .
- Sumerja la muestra en el agua de la probeta. Agite el agua de modo de eliminar las burbujas de aire. Registre el volumen total del agua más la muestra sumergida como  $V_2$ , aproximando a  $1 \text{ cm}^3$ .
- Calcule V como el volumen de agua desplazada de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ cm}^3$ .

$$V (\text{cm}^3) = V_2 - V_1$$

donde:

- V : Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra ( $\text{cm}^3$ ).
- $V_1$  : Volumen del agua en la probeta ( $\text{cm}^3$ ).
- $V_2$  : Volumen del agua más la muestra sumergida en la probeta ( $\text{cm}^3$ ).

**6.2** En casos de controversia efectúe contraensayes, determinando la suma de los volúmenes reales de las partículas (V) mediante el procedimiento gravimétrico siguiente:

- Obtenga los valores de la pesada sumergida (A) y la pesada al aire ambiente en condición saturada superficialmente seca (B) del material en estudio, determinados según Método 8.202.20.
- Calcule V como el volumen del total de partículas de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ cm}^3$ :

$$V (\text{cm}^3) = (B - A) \times 1.000 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

donde:

- V : Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra ( $\text{cm}^3$ ).
- A : Masa del pétreo sumergido.
- B : Masa del pétreo saturado superficialmente seco (kg).

**6.3** Determine los valores de  $N_i$  para el total de partículas de la muestra mediante el procedimiento de medición directa siguiente:

- Mida con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula ( $N_i$ ) y regístrela en centímetros, aproximando a 0,1 cm.

b) Calcule y registre el valor de la sumatoria de los  $\Sigma N_i^3$

## 7.- Expresión de los Resultados.

7.1 Calcule el coeficiente volumétrico medio para cada ensaye de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,01 :

$$C = \frac{1,91V}{\Sigma N_i^3}$$

donde:

- C : Coeficiente volumétrico medio.
- 1,91 : Factor correspondiente al valor inverso de  $\pi/6$ .
- V : Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm<sup>3</sup>).
- N<sub>i</sub> : Mayor dimensión de cada partícula de la muestra (cm).

7.2 Calcule el coeficiente volumétrico medio de un pétreo como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

## 8.- Aceptación de Resultados.

8.1 Acepte la determinación del coeficiente volumétrico medio cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 0,02.

8.2 Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 8.1.

9.- **Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra y lugar de extracción.
- c) Tamaño máximo absoluto del pétreo grueso, Da.
- d) Procedimiento empleado en la determinación del volumen total de partículas (volumétrico o gravimétrico).
- e) El resultado del ensaye.
- f) Fecha de ensaye.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo.
- h) Referencia a este método.



## 8.202.13 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE ESPECIFICA

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1 Aplicación.** Este método describe el procedimiento para determinar la superficie específica teórica de agregados pétreos.

### 1.2 Alcance.

- a) El método considera que el agregado pétreo está formado por partículas esféricas ideales. Por lo tanto no considera el efecto de la forma, porosidad ni rugosidad del agregado.
- b) El método define el procedimiento para calcular la superficie específica externa de un agregado pétreo. Por lo tanto no considera el área de los poros accesibles (macro y meso poros), ni de los poros inaccesibles del agregado.
- c) El procedimiento es aplicable a agregados pétreos de cualquier tamaño máximo absoluto. Para agregados muy finos, tales como filler o cemento, con superficie específica volumétrica de hasta aproximadamente  $1,2 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$  se recomienda la aplicación de procedimientos de medición basados en ensayos de permeabilidad o de adsorción de gas.

**Nota 1:** Para una densidad de  $3.000 \text{ kg/m}^3$ , el valor mencionado anteriormente implica una superficie específica de  $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

### 2.- Referencias. El procedimiento se basa en los siguientes documentos:

- Loudon, A. G., The computation of permeability from simple soil tests, Geotéchnique, 3, N° 4, pp. 165-183 (Dec. 1952).
- Método 8.202.1 Agregados Pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.3 Agregados Pétreos: Método para tamizar y determinar la granulometría.
- Método 8.202.4 Agregados Pétreos: Método para determinar el fino menor que 0,08 mm.
- Método 8.202.5 Agregados Pétreos: Método para determinar la granulometría del filler.
- Método 8.202.20 Agregados Pétreos: Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.
- Método 8.202.21 Agregados Pétreos: Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos finos.
- Neville, A., Properties of Concrete, John Wiley & Sons Inc., Fourth Edition (1996).

### 3.- Terminología.

**3.1 Superficie Específica.** Cuociente entre la superficie externa de un agregado y su volumen, la que se expresa en  $\text{m}^{-1}$  o  $\text{pie}^{-1}$  [8].

**Nota 2:** La superficie externa de un agregado no considera el área de los poros accesible a éste.

**3.2 Superficie Específica en Peso.** Cuociente entre la superficie específica de un agregado y su densidad real seca, la que se expresa como  $\text{m}^2/\text{kg}$  o  $\text{pie}^2/\text{lb}$  [8].

**4.- Fundamentos.** La superficie específica, SE, para partículas monogranulares esféricas de diámetro d, se puede calcular según la siguiente ecuación [8]:

$$SE = \frac{\text{superficie de la esfera}}{\text{volumen de la esfera}} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3/6} = \frac{6}{d} \quad (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (1)$$

De la expresión anterior se puede ver que la superficie específica de las partículas es inversamente proporcional al diámetro de las mismas, supuesto partículas de diámetro uniforme.

Para el caso de agregados pétreos de distinto tamaño y suponiendo partículas esféricas, la superficie específica correspondiente a una determinada fracción de agregado retenido entre dos mallas sucesivas de la serie normal, se calcula con el diámetro equivalente a la media geométrica de los tamaños extremos, como [1]:

$$SE = \frac{6}{d} = \frac{6}{\sqrt{D_{\max} D_{\min}}} \quad (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (2)$$

en que  $D_{\min} = D_{\max}/2$

$D_{\max}$  y  $D_{\min}$  son las dimensiones de los tamices de la serie normal de mayor y menor abertura, expresados en metros, que dejan pasar y retienen al material, respectivamente.

La Tabla 8.202.13.A da la superficie específica de agregados, SE, para distintas fracciones del tamaño de partículas.

**TABLA 8.202.13.A**  
**SUPERFICIE ESPECIFICA SEGUN TAMAÑO DE PARTICULAS**

Fracción tamaño partículas	Superficie Específica	
	SE (m <sup>-1</sup> )	SE (pie <sup>-1</sup> )
	6/(D <sub>max</sub> D <sub>min</sub> ) <sup>1/2</sup>	6/(D <sub>máx</sub> D <sub>min</sub> ) <sup>1/2</sup>
40 - 20	212	65
20 - 10	424	129
10 - 5	849	259
5 - 2,5	1.697	517
2,50 - 1,25	3.394	1.035
1,250 - 0,630	6.761	2.061
0,630 - 0,315	13.469	4.105
0,315 - 0,160	26.726	8.146
0,160 - 0,080	53.033	16.164
0,080 - 0,040	106.066	32.329

La superficie específica total de un agregado pétreo, SE<sub>T</sub>, que tiene una granulometría determinada, expresada en m<sup>-1</sup>, se obtiene de la sumatoria de los productos del porcentaje en peso retenido en cada fracción de tamaño de los tamices normales por la superficie específica correspondiente a dicha fracción indicado en Tabla 8.202.13.A, y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_T = \frac{\sum (\text{Porcentaje retenido} \times SE)}{100} \quad \{\text{correspondientes entre mallas } D_{\max} \text{ y } D_{\min}\} \quad (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (3)$$

La superficie específica en peso de un agregado, SE<sub>P</sub>, es función de su densidad real seca, ρ<sub>RS</sub>, expresada en kg/m<sup>3</sup>, y viene dada por la siguiente expresión:

$$SE_P = \frac{SE_T}{\rho_{RS}} \quad \left( \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} \right) \text{ o } \left( \frac{\text{pie}^2}{\text{lb}} \right) \quad (4)$$

## 5.- Procedimiento.

**5.1 Muestraer Agregados Pétreos.** Prepare muestras representativas de los agregados para efectuar ensayos según lo señalado en Método 8.202.1.

**5.2 Determinar la Granulometría de los Agregados Pétreos:** Ejecute los ensayos para determinar la granulometría de los agregados según lo señalado en los siguientes métodos: 8.202.3, 8.202.4 y 8.202.5, cuando proceda

**5.3 Determinar la Densidad Real Seca de los Agregados Pétreos.** Ejecute los ensayos para determinar las densidades reales de los agregados según lo señalado en los siguientes métodos: 8.202.20 y 8.202.21.

**5.4 Calcular la Superficie Específica de los Agregados Pétreos.** Calcule la superficie específica total en peso de cada uno de los agregados utilizando la ecuación (4).

**5.5 Calcular la Superficie Específica del Agregado Combinado.** La superficie específica del agregado combinado, en peso, se obtiene de la sumatoria de los productos de los porcentajes en peso de cada tipo de agregado por su superficie específica, y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_{PT} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Porcentaje en peso agregado (i)} \times SE_P \text{ agregado (i)})}{100} \quad \left( \frac{m^2}{kg} \right) \text{ o } \left( \frac{pie^2}{lb} \right)$$

(5)

**6.- Informe.** El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes

- a) Nombre del Contrato y de la empresa Contratista.
- b) Identificación de las muestras (tipo y aspecto visual de los agregados, procedencia de las muestras).
- c) Lugar y fecha de muestreo.
- d) Entidad responsable del muestreo y ensaye.
- e) Análisis granulométricos y dosificación de mezcla de los agregados.
- f) Densidades reales secas de los agregados.
- g) Cálculo de la superficie específica de los agregados pétreos.

**7.- Ejemplo de Cálculo.** A modo ilustrativo se muestra en la Tabla 8.202.13.B, un ejemplo de cálculo de la superficie específica de un agregado pétreo, considerando una densidad real seca de 2.750 kg/m<sup>3</sup>.

**TABLA 8.202.13.B**  
**EJEMPLO DE CALCULO SUPERFICIE ESPECIFICA AGREGADOS PETREOS**

Tamiz (mm)	Curva granulométrica		Coef. Superficie Específica (m <sup>-1</sup> )	Superficie Específica (m <sup>-1</sup> )
	% que pasa	% retenido		
40				
20			212	0
10	100		424	0
5	99,5	0,5	849	425
2,5	95,6	3,9	1.697	6.618
1,25	77,8	17,8	3.394	60.413
0,630	52	25,8	6.761	174.434
0,315	24,5	27,5	13.469	370.398
0,160	10,7	13,8	26.726	368.819
0,080	6,4	4,3	53.033	228.042
0,040		6,4	106.066	678.822
Suma		100		1.887.971
			SE <sub>T</sub> (m <sup>-1</sup> ) =	18.880
			SE <sub>PT</sub> (m <sup>2</sup> /kg) =	6,865

## 8.202.14 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Este método es aplicable en controles de obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación del contenido de sales.

**2.- Resumen del Procedimiento.** Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

### 3.- Materiales y Reactivos.

- a) Balanza sensibilidad 0,01 g.
- b) Mecheros.
- c) Matraces aforados.
- d) Vasos de precipitado.
- e) Pipetas.
- f) Solución de Nitrato de Plata.
- g) Solución de Cloruro de Bario.
- h) Agua destilada.
- i) Horno.
- j) Tubos de ensaye.

**4.- Extracción y Acondicionamiento de la Muestra.** Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con el Método 8.202.1. La cantidad de muestra y aforo debe ajustarse a lo que se indica en la Tabla 8.202.14.A.

**TABLA 8.202.14.A**  
**CANTIDAD Y AFORO DE LA MUESTRA.**

<b>Agregado Pétreo</b>	<b>Cantidad mínima (g)</b>	<b>Aforo mínimo (ml)</b>
Grava 50 - 20 mm	1.000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 5 mm	100	500

### 5.- Procedimiento.

**5.1** Seque la muestra en horno a  $110 \pm 5^\circ$  C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registre esta masa como A.

**5.2** Coloque la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir hasta unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.

**5.3** Agite durante 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.

**5.4** Decante mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensaye, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de nitrato de plata, formándose un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con una gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.

**5.5** Repita los pasos desde 5.2 a 5.4 hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.

**5.6** Una vez enfriados, vacíe todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrase con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentre mediante evaporación. Registre el aforo como B.

**5.7** Tome una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como C.

**5.8** Cristalice la alícuota en un horno a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante y registre la masa como D.

**6.- Informe.** Informe el porcentaje de sales solubles, calculándolo mediante la siguiente relación:

$$\text{Sales Solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

**Nota 1:** En caso de necesitar mayor precisión en la determinación de sales o cuando se esté en el límite de la exigencia, emplee el Método 8.202.18.

## **8.202.15 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINACION COLORIMETRICA DE IMPUREZAS ORGANICAS EN ARENAS PARA HORMIGONES\*.**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar, por comparación de coloraciones, la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones. Las prescripciones de este método se aplican a las arenas para hormigones.

\*El Método 8.202.15 es una adopción de la norma NCh 166 of.62.

### **2.- Terminología.**

**2.1 Índice de Coloración.** En términos de ácido tánico, superior a 500 partes por millón, es la característica de una solución que tiene una intensidad de color superior a la solución tipo preparada de acuerdo con el punto 4.3 del presente método.

**3.- Preparación de la Muestra.** Extraiga y prepare las muestras de arena en conformidad con el Método 8.202.1.

### **4.- Reactivos.**

**4.1 Solución de Acido Tánico al 2%.** Se prepara disolviendo 2 g de ácido tánico en una mezcla de 10 ml de alcohol de 95% y 90 ml de agua destilada.

**4.2 Solución de Hidróxido de Sodio al 3%.** Se prepara disolviendo 30 g de hidróxido de sodio en 970 g de agua destilada.

**4.3 Solución Tipo de Acido Tánico, de 500 partes por millón.** Se prepara agregando 2,5 ml de la solución de ácido tánico al 2% a 97,5 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3% . Agite y deje en reposo durante 24 h.

**4.4** El ácido tánico empleado en la preparación de la solución tipo indicada en el punto 4.3, debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Al adicionar un volumen igual de alcohol a una solución acuosa de ácido tánico al 20%, no deberá producirse turbidez.
- b) Al agitar una solución acuosa al 20% con la mitad de su volumen de éter, éste debe permanecer límpido.
- c) La pérdida en peso del ácido tánico, determinada por calentamiento de éste a 100° C, no debe exceder del 10%.
- d) El peso de las cenizas obtenidas por calcinación de una muestra de ácido tánico, no debe exceder del 0,2 % del peso de ésta.

### **5.- Procedimiento de Ensaye.**

**5.1** Coloque en un frasco, de vidrio blanco transparente, 200 g de la muestra de arena junto con 100 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3%, o un múltiplo de esas cantidades. Agite vigorosamente el frasco y deje en reposo durante 24 h.

**5.2** Compare por colorimetría la solución tipo, colocada en un vaso de dimensiones y calidad igual al especificado en el párrafo anterior, con la solución indicada en el punto 5.1. Ambas soluciones deberán prepararse simultáneamente.

**5.3 Resultado.** Como resultado de la determinación colorimétrica, informe la coloración de la solución en estudio, indicando si es más o menos intensa o de igual color que la solución tipo.



## **8.202.16 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTICULAS DESMENUZABLES\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece un procedimiento para determinar el contenido de partículas desmenuzables en los pétreos. Se aplica a los pétreos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

\* El Método 8.202.16 es una adaptación de la norma NCh 1327 of. 77.

### **2.- Terminología.**

**2.1 Partículas Desmenuzables.** Son aquellas partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

**2.2 Otros Términos.** Otros términos empleados en este método se definen en la Especificación 8.201.1.

### **3.- Resumen del Procedimiento.**

- a) Acondicione la muestra.
- b) Elimine las partículas desmenuzables mediante inmersión, compresión y lavado.
- c) Calcule el contenido de partículas desmenuzables como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra respecto de su masa inicial.

### **4.- Aparatos.**

**4.1 Balanza.** De capacidad superior a la masa de la muestra de ensaye y una resolución de 0,1 g.

**4.2 Recipientes.** De material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los pétreos y el agua, estancos y de capacidad tal que permitan distribuir toda la muestra de ensaye en una capa delgada.

**4.3 Tamices.** De malla de alambre y abertura cuadrada que cumplan con el Método 8.202.3. Emplee la serie de aberturas nominales de: 40 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, 0,630 mm y 0,315 mm.

**4.4 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**5.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con el Método 8.202.1.

### **6.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**6.1** Emplee material previamente lavado o bien material proveniente del ensaye de determinación de material fino inferior a 0,080 mm, según Método 8.202.4.

**6.2** En el caso de materiales integrales o mal harneados, deje constancia en el informe y separe el material en pétreo fino y pétreo grueso mediante el tamiz de 5 mm o 2,5 mm, según corresponda a hormigón o asfalto respectivamente. Determine y registre el porcentaje en masa de ambas fracciones.

**Nota 1:** Se consideran mal harneados los pétreos finos que retienen más de 5% sobre el tamiz de referencia y los pétreos gruesos que dejan pasar más de 5 % por el mismo tamiz.

**6.3** Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5° C.

## 7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.

**7.1 Pétreo Fino.** Debe tener el tamaño especificado en la Tabla 8.202.16.A.

**7.2 Pétreo Grueso.** Debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en Tabla 8.202.16.A.

**TABLA 8.202.16.A  
TAMAÑO MINIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

### Pétreo fino

Tamaño de partículas (mm)		Masa mínima de la muestra (g)
Hormigón	1,25 – 5	100
Asfalto	0,63 – 2,5	100

### Pétreo grueso

Fracción *	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	sobre 40	5.000
2	20 – 40	3.000
3	10 – 20	2.000
4	5 – 10	1.000
5	2,5 – 5	500

\* Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón.  
Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

**7.3** Los tamaños de muestra del pétreo grueso se deben tomar considerando el porcentaje parcial retenido (ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según Método 8.202.3, en la forma siguiente:

- a) Ensaye las fracciones indicadas siempre que el ppr sea igual o mayor que 5 %.
- b) No ensaye las fracciones que tengan un ppr menor que 5% (ver 9.2 b)).

## 8.- Ensaye.

**8.1** Pese la muestra o fracción de muestra de ensaye en estado seco y registre su masa inicial (mi), aproximando a 0,1 g en el pétreo fino y a 1 g en el pétreo grueso.

**8.2** Esparza el material de cada muestra o fracción de muestra en una capa delgada sobre el fondo de un recipiente, cúbrala con agua destilada y déjela remojando durante  $24 \pm 4$  h.

**8.3** Finalizado el plazo de inmersión, deshaga las partículas desmenuzables comprimiéndolas y frotándolas entre los dedos.

**Nota 2:** Las partículas no deben deshacerse empleando las uñas ni comprimiéndolas contra superficies duras.

**8.4** Después de deshacer todas las partículas desmenuzables, separe el residuo mediante tamizado húmedo, empleando el tamiz que corresponda de acuerdo con la Tabla 8.202.16.B, según el tamaño de las partículas ensayadas.

**TABLA 8.202.16.B  
TAMICES PARA SEPARAR RESIDUOS**

**Pétreo Fino**

Tamaño de partículas (mm)		Abertura nominal del tamiz (mm)
Hormigón	1,25 – 5	0,630
Asfalto	0,63 – 2,5	0,315

**Pétreo Grueso**

Fracción *	Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
<b>1</b>	<b>sobre 40</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>20 – 40</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>10 – 20</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>5 – 10</b>	<b>2,5</b>
<b>5</b>	<b>2,5 – 5</b>	<b>1,25</b>

\*Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto

**8.5** Efectúe el lavado dejando caer agua corriente sobre la muestra o fracción de muestra colocada en el tamiz correspondiente, agite manualmente hasta eliminar todos los residuos de partículas desmenuzables.

**8.6** Retire las partículas retenidas y séquelas hasta masa constante en horno a temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  C. Luego deje enfriar a temperatura ambiente.

**8.7** Mida y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g en el pétreo fino y a 1 g en el pétreo grueso.

**9.- Expresión de los Resultados.**

**9.1 Pétreo Fino.** Calcule el contenido de partículas desmenuzables del pétreo fino como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

donde:

P : Pérdida de masa del pétreo fino (%).

$m_i$  : Masa inicial de la muestra del pétreo fino (g).

$m_f$  : Masa final de la muestra del pétreo fino (g).

**9.2 Pétreo Grueso.**

a) Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %:

$$P_n(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times P_{pr}$$

donde:

$P_n$ : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de pétreo grueso (%).

$m_i$  : Masa inicial de la fracción (g).

$m_f$  : Masa final de la fracción (g).

$P_{pr}$  : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

- b) Considere que las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en el punto 7.3 tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema, considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c) Calcule el contenido de partículas desmenuzables del pétreo grueso como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1 %:

$$P (\%) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

**Nota 3:** Para asfalto, considerar además  $P_5$ .

donde:

$P$  : Pérdida de masa del pétreo grueso (%).

$P_n$  : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra del pétreo grueso (%).

**10.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensaye.
- d) Fecha de ensaye.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo (por ejemplo serie de tamices empleada).
- f) Referencia a este método.

## 8.202.17 AGREGADOS PETREOS: METODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACION\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los pétreos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los pétreos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup> que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

\* El Método 8.202.17 es una adaptación de la norma NCh 1328 of.77.

**2.- Terminología.** Algunos términos empleados en este método se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Acondicione la muestra de ensaye y sométala a ciclos sucesivos de inmersión en soluciones sulfatadas y secado en horno. Calcule la desintegración como la pérdida de masa debida a los fenómenos físico-químicos resultantes de la cristalización del sulfato.

### 4.- Aparatos

#### 4.1 Balanzas

- a) Balanza para pétreos finos de capacidad superior a 500 g y una resolución de 0,1 g.
- b) Balanza para pétreos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una resolución de 0,1 g..

**4.2 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**4.3 Tamices.** Emplee la misma serie de tamices especificadas en el Método 8.202.3.

#### 4.4 Recipientes.

- a) Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra.

**Nota 1:** Se recomienda emplear canastillos fabricados con tela metálica de aberturas adecuadas a las fracciones del pétreo en ensaye.

- b) Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensaye. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.

### 5.- Reactivos.

**5.1** Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.

**5.2** Solución de sulfato de sodio. Disuelva 350 g de sulfato de sodio anhidro (Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) o 750 g de sulfato de sodio decahidratado (Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> · 10 H<sub>2</sub>O) por litro de agua a una temperatura mayor a 25°C y menor a 30°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de 20 ± 3°C durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,151 y 1,174 a 20 ± 3°C.

**Nota 2:** Es recomendable usar el producto comercial anhidro por tener mayor solubilidad que el producto hidratado.

**Nota 3:** El ajuste de la densidad se logra diluyendo o disolviendo más sal, según corresponda.

**5.3** Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro ( $Mg SO_4$ ) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) por litro de agua a una temperatura mayor que 25°C y menor que 30°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ C$  durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a  $20 \pm 3^\circ C$ .

**6.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2. Deben haberse ensayado previamente según Método 8.202.3 a fin de determinar la granulometría.

## 7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.

### 7.1 Pétreo Fino.

- a) Pase previamente por el tamiz de 10 mm para hormigón y 5 mm para asfalto. Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.2.
- b) Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 10 mm para hormigón y 5 mm para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 8.202.17.A.

### 7.2 Pétreo Grueso.

- a) Pase previamente por el tamiz de 5 mm para hormigón y 2,5 mm para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.1.
- b) Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 5 mm para hormigón y 2,5 mm para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 8.202.17.A.

**TABLA 8.202.17.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

Pétreo fino		
Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	5 - 10	100
2	2,5 - 5	100
3	1,25 - 2,5	100
4	0,630 - 1,25	100
5	0,315 - 0,63	100

Nota: Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para hormigón  
Fracción 2, 3, 4 y 5 para asfalto

**Pétreo grueso**

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de la fracción (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	40 - 50	2.000 ± 200	
2	25 - 40	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	20 - 25	500 ± 30	
3	12,5 - 20	670 ± 10	1.000 ± 10
	10 - 12,5	330 ± 5	
4	5 - 10	300 ± 5	300 ± 5
5	2,5 - 5	100 ± 5	100 ± 5

**Nota:** - Para tamaños mayores a 63 mm constituir fracciones de 7.000 ± 1.000 g por cada incremento del tamaño en 25 mm.  
- La fracción 5 es sólo para asfalto.

**7.3** Tome los tamaños de muestra indicados en la Tabla 8.202.17.A considerando el porcentaje parcial retenido (ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según Método 8.202.3, en la forma siguiente:

- Ensaye las fracciones indicadas siempre que el ppr sea igual o mayor que 5%.
- No ensaye las fracciones que tengan un ppr menor que 5% (ver 10.2).
- Si una subfracción del pétreo grueso tiene un ppr menor que 3%, compongá la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un ppr igual o mayor a 3%.

**8.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**8.1 Pétreo Fino.**

- Lave la muestra de ensaye sobre un tamiz de 0,315 mm o 0,160 mm, para hormigón o asfalto, respectivamente,
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5°C.
- Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la Tabla 8.202.17.A.
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.
- Coloque cada fracción en su canastillo.

**8.2 Pétreo Grueso.**

- Lave la muestra de ensaye sobre un tamiz de 5 mm o 2,5 mm, según corresponda.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5°C.
- Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada en la Tabla 8.202.17.B.
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
- Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
- Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 20 mm.
- Coloque cada fracción en su canastillo.

**9.- Ciclos de Inmersión y Secado.**

**9.1** Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de 20 ± 3°C por un período de 17 ± 1 h, de modo que los pétreos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.

**9.2** Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante  $15 \pm 5$  min y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Deje enfriar a temperatura ambiente.

**9.3** Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.

**9.4** Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.

**Nota 4:** Para determinar el término del lavado se recomienda comprobar el agua de lavado mediante solución de cloruro de bario al 10%. No debe formarse precipitado blanco.

**9.5** Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.

**9.6** Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:

**a)** Pétreo fino.

- Tamice cada fracción de pétreo fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensaye.
- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.

**b)** Pétreo grueso.

- Tamice cada fracción de pétreo grueso por el tamiz correspondiente de acuerdo con la Tabla 8.202.17.B.

**TABLA 8.202.17.B**  
**SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO**

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original (mm)	Tamices, tamaños nominales de abertura (mm)
1	40 - 63	25
2	20 - 40	12,5
3	10 - 20	6,25
4	5 - 10	2,5
5	2,5 - 5	2,0

Nota: La fracción 5 es sólo para asfalto.

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.

**9.7** Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 20 mm como sigue:

**a)** Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).

**b)** Cuente y registre el número final de partículas (nf).

## 10.- Expresión de los Resultados.

**10.1** Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_n (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times ppr$$

donde:

- $P_n$  : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).  
 $m_i$  : Masa inicial de la fracción (g).  
 $m_f$  : Masa final de la fracción (g).  
 $ppr$  : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

**10.2** Para las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en 7.3, considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.

**10.3** Calcule la desintegración del pétreo fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + \dots P_n)$$

donde:

- $P$  : Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%)  
 $P_n$  : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%)

**10.4** Calcule el porcentaje de partículas mayores que 20 mm afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} \times 100$$

donde:

- $A$  : Porcentaje de partículas mayores que 20 mm afectadas por la acción del sulfato (%).  
 $n_i$  : Número inicial de partículas mayores que 20 mm.  
 $n_f$  : Número final de partículas mayores que 20 mm.

**11.- Informe.** El informe debe incluir los siguientes datos:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Sal con que se efectuó el ensaye.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha de ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo.
- g) La referencia a este método.



## 8.202.18 AGREGADOS PÉTREOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este Método establece los procedimientos analíticos para determinar en los pétreos el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua. Se aplica a los pétreos de densidad neta entre 2.000 a 3.000 kg/m<sup>3</sup>.

Se considera que los métodos analíticos que se describen tienen suficiente exactitud para los fines de aceptación y rechazo.

\*El Método 8.202.18 es una adopción de la norma NCh 1444/1 of. 80.

### 2.- Aparatos

#### 2.1 Balanzas

- a) Balanza corriente, con capacidad suficiente para pesar la muestra más el recipiente de pesaje, con una resolución de 0,1 g.
- b) Balanza analítica, con capacidad de 100 a 200 g y con una resolución de 0,01 g.

**2.2 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

#### 2.3 Recipientes.

- a) Para secado, adecuados para secar y pesar la muestra.
- b) Para extracción, de vidrio o metálicos. Los metálicos deben ser estancos e inatacables por las soluciones empleadas. Deben tener capacidad suficiente para la extracción.

#### 2.4 Buretas

- a) Bureta calibrada, con lecturas de 0,1 ml.
- b) Microbureta, con lecturas de 0,02 ml.

**2.5** Papel filtro cuantitativo de grano fino, velocidad de flujo lenta (Herzberg) 2.685 s, retención de partículas de 2,7 µm, cenizas inferior a 0,025%, peso 97 g/m<sup>2</sup>, grosor 0,12 mm, de 70 mm de diámetro.

**2.6 Material de Laboratorio.** Matraces aforados, pipetas, vasos de precipitado y todo el equipo misceláneo requerido en un laboratorio químico.

### 3.- Reactivos.

**3.1 Reactivos Generales.** Son los reactivos para análisis concentrados de la densidad que se indica y con los que se deben preparar las soluciones requeridas:

- Acido clorhídrico      ρ : 1,18 g/ml
- Acido nítrico            ρ : 1,42 g/ml

**3.2 Reactivos Especiales.** Son los que se indican en cada determinación.

**4.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

- 5.- **Tamaño de la Muestra de Ensaye.** El tamaño de la muestra de ensaye debe ser tal, que una vez acondicionada, pueda obtenerse la cantidad mínima que se indica en la Tabla 8.202.18.A.

**TABLA 8.202.18.A**  
**TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA Y AFORO**

<b>Pétreo (mm)</b>	<b>Tamaño Mínimo de la Muestra (g)</b>	<b>Aforo (ml)</b>
Fino	100	1.000
Grueso < 20	500	1.000
Grueso 20 a 40	750	2.000
Grueso > 40	1.000	2.000

**Nota:** Si el laboratorio no cuenta con microbureta, la muestra mínima de fino debe aumentarse a 250 g.

## 6.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye

### 6.1 Tratamiento Previo

- Seque la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante y pese con aproximación a 0,1 g, registrando la pesada como M. No se debe ajustar la pesada a una cantidad predeterminada para evitar la selección de partículas.
- Coloque la muestra en un recipiente de extracción.
- Agregue agua destilada hirviendo, en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra.
- Agite aproximadamente 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- Decante durante 10 min y traspase el líquido de extracción que sobrenada a otro recipiente o vaso.
- Repita toda la operación anterior hasta que el líquido de extracción no acuse presencia de cloruros y/o sulfatos, completando un volumen de 800 ml en los pétreos menores que 20 mm y un volumen de 1.800 ml en pétreos mayores que 20 mm. En caso necesario, concentre por evaporación.
- Filtre el líquido de extracción en filtro de porosidad media al vacío. Lave con agua caliente, y refiltre si es necesario.

**Nota 1:** Para evitar la coloración en el filtrado se recomienda emplear carbón activo p.a. y para acelerar el filtrado y evitar la turbidez, se recomienda emplear pulpa de celulosa o tierra de infusorios, grado analítico. También pueden emplearse otros materiales similares que no interfieran con los procedimientos analíticos.

- Enfríe el filtrado a  $20^\circ\text{C}$  y enrase en matraz aforado con un volumen de 1.000 ml ó 2.000 ml, según corresponda (V).

### 6.2 Muestras para Análisis.

Emplee una alícuota del líquido del matraz, según se indica en cada determinación.

## 7.- Determinaciones

### 7.1 Determinación de Cloruros Solubles en Agua

- Reactivos especiales
  - Indicador de cromato de potasio al 5%: Disuelva 5 g de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  p.a. en un poco de agua destilada. Agregue una solución de nitrato de plata 0,1 N hasta producir un ligero precipitado rojo. Deje reposar por lo menos una noche, filtre y diluya a 100 ml con agua destilada.
  - Reactivo A. Solución 0,1 N de cloruro de sodio. Pese 5,8443 g de cloruro de sodio seco, NaCl p.a. cristalizado, patrón primario y secado a  $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante. Disuelva con

agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. El equivalente de 1 ml de este reactivo es igual a  $3,545 \times 10^{-6}$  kg de Cl.

- Reactivo B. Solución normalizada de nitrato de plata. Pese 17,0 g de nitrato de plata,  $\text{AgNO}_3$  p.a. y disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. Para conservar la solución sin alteración de la luz, traspásela a un frasco oscuro con tapón de vidrio.
- Normalice el reactivo B como sigue: mida 20 ml del reactivo A y colóquelo en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Diluya a 100 ml con agua destilada. Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%. Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada, agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente. Efectúe esta determinación en triplicado. Registre los "b" ml del reactivo B consumidos. Calcule el factor de normalidad del reactivo B,  $f_b = (\text{ml reactivo A})/b$ .

**b) Determinación.**

- Tome una alícuota con un volumen de 100 ml (A) del líquido filtrado en 6.1.

**Nota 2:** Si el contenido de cloruros es muy alto, tome una alícuota con un volumen menor para facilitar el punto final. Para el cálculo, tome en cuenta este menor volumen.

- Colóquela en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Verifique que el valor del pH esté entre 6 y 8.

**Nota 3:** Por ejemplo, si el pH es menor que 6, se puede neutralizar mediante una solución de NaOH 0,1 N en presencia del indicador de fenolftaleína, hasta una leve coloración rosada, la que se hará desaparecer con una gota de  $\text{HNO}_3$  0,1 N. Si el pH es mayor que 8, emplee una solución de  $\text{HNO}_3$  0,1 N en presencia del mismo indicador, hasta que la coloración rosada desaparezca. También puede emplearse otro método similar que no interfiera con el procedimiento de titulación.

- Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%.
- Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada (o microbureta cuando sea necesario), agitando constantemente hasta que la solución cambie de amarillo a un color rojo ligero, pero persistente.
- Registre los  $b_a$  ml del reactivo B consumidos.
- Efectúe un ensaye en blanco con los mismos reactivos, registrando como  $b_b$  los ml consumidos.

**c) Expresión de resultados.** Calcule el contenido de cloruros en el pétreo, expresados como kg de anión cloruro,  $\text{Cl}^-$ , por kg de pétreo, con aproximación a  $1 \times 10^{-6}$  kg como sigue:

$$\text{Cloruros (kg Cl}^- \text{/kg de pétreo)} = \frac{(b_a - b_b) \times f_b \times 3,545 \times 10^{-6} \times V}{M \times A}$$

donde:

- $b_a$  : Consumo del reactivo B en la muestra (ml)
- $b_b$  : Consumo del reactivo B en el blanco (ml)
- $f_b$  : Factor de normalidad del reactivo B
- V : Volumen aforado de la solución (ml)
- M : Masa del pétreo seco de la muestra de ensaye (kg)
- A : Volumen de la alícuota (ml)

## 7.2 Determinación de los Sulfatos Solubles en Agua

**a) Reactivo especial.** Reactivo C; solución al 10% de cloruro de bario. Pese 100 g de la sal  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  p.a. y disuelva en 1.000 ml de agua destilada.

**b) Determinación**

- Mida una alícuota de 100 ml del matraz aforado.

**Nota 4:** En presencia de Fe o Al, éstos deben eliminarse mediante precipitación con hidróxido de amonio.

- Diluya con agua destilada hasta 200 a 250 ml. Agregue ácido clorhídrico hasta obtener una concentración del 1% en volumen en la solución final.
- Caliente hasta ebullición y agregue, gota a gota, 10 ml del reactivo C, continuando la ebullición por lo menos 5 min hasta que el precipitado esté bien formado.
- Decante durante 3 h como mínimo, a temperatura cercana a la ebullición, evitando que la solución se concentre a menos de 200 ml.

**Nota 5:** Se recomienda continuar la decantación por un período de 12 h.

- Filtre a través del papel filtro especificado en el punto 2.5. Lave el precipitado con agua caliente hasta eliminación total del cloruro, verificada mediante nitrato de plata.
- Tare un crisol de platino o porcelana, registrando su masa como  $m_1$ . Coloque el papel filtro con el precipitado en el crisol. Incinere lentamente hasta que el papel se consuma sin arder. Calcine a  $900^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ , enfríe en desecador a temperatura ambiente y pese. Repita la calcinación hasta tener una masa constante  $m_2$ , correspondiente al crisol y precipitado calcinado. Registre la masa del precipitado ( $m_1 - m_2$ ) como  $m_a$ .
- Realice, paralelamente, una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento con iguales cantidades de reactivos. Registre la masa del análisis en blanco como  $m_b$ .

- c) Expresión de resultados.** Calcule el contenido de sulfatos solubles en el pétreo como kg de anión  $\text{SO}_4^{2-}$  por kg de pétreo, con aproximación a  $1 \times 10^{-6}$  kg como sigue:

$$\text{Sulfatos (kg } \text{SO}_4^{2-} \text{ / kg de pétreo)} = \frac{(m_a - m_b) \times 0,004116 \times V}{M}$$

donde:

$m_a$	:	Masa del precipitado correspondiente a la muestra (g)
$m_b$	:	Masa del precipitado correspondiente a la muestra en blanco (g)
0,004116	:	Relación molecular de $\text{BaSO}_4$ a $\text{SO}_4^{2-}$ dividido por 100
V	:	Volumen aforado de la solución de extracción (ml)
M	:	Masa del pétreo seco de la muestra de ensaye (g)

**8.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensaye. Valores inferiores a  $10 \times 10^{-6}$  kg de  $\text{Cl}^-$  o  $\text{SO}_4^{2-}$  pueden considerarse como indicios.
- d) Fecha de ensaye.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo; y
- f) Referencia a este Método.

## 8.202.19 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los pétreos. Es aplicable a los pétreos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

\*El Método 8.202.19 es una adopción de la norma NCh 1116 E of. 77.

### 2.- Terminología.

**2.1 Huecos.** Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

**2.2 Poros.** Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

**2.3 Densidad  $\tilde{\rho}$**  De acuerdo con NCh 22, es el cociente entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>).

- a) Densidad Aparente (Densidad a Granel; Densidad Bruta)( $\rho_a$ ) Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.
- b) Densidad Aparente Compactada ( $\rho_{ac}$ ). Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.
- c) Densidad Aparente Suelta ( $\rho_{as}$ ). Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

**2.4 Medida.** Recipiente de capacidad volumétrica normal.

**2.5 Secado Hasta Masa Constante.** Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de secado en horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

**2.6 Otros Términos.** Otros términos empleados en este método se encuentran definidos en la Especificación 8.201.1.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Vacíe el pétreo en una medida de capacidad volumétrica especificada (v) para el tamaño máximo nominal del pétreo. Determine la masa (m) del pétreo suelto o compacto que llena la medida. Determine la densidad aparente dividiendo la masa del pétreo por la capacidad volumétrica de la medida. Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Balanza.** De capacidad superior a la masa de la medida llena con un pétreo de densidad aparente de 2.000 kg/m<sup>3</sup>, y una resolución de 0,1 g. Los términos capacidad y resolución de una balanza están definidos en NCh 1075.

**4.2 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**4.3 Varilla Pisón.** Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

**4.4 Medidas.** Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

- a) Dimensiones. Las dimensiones son las que se indican en la Tabla 8.202.19.A y podrán emplearse para pétreos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

**TABLA 8.202.19.A  
DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS**

Tamaño Máximo Nomina del Pétreo * (mm)	Capacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo Del metal	
	m <sup>3</sup>	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2	5	2,5
25	0,010	10	205 ± 2	305 ± 2	5	2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2	5	3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2	5	3,0

\* Basado en tamices de abertura cuadrada de acuerdo con el Método 8.202.3.

- b) Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la Tabla 8.202.19.A, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensaye.
- c) Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión de 0,1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

**4.5 Herramientas y Accesorios.** Palas, poruña, brocha, caja para secado, etc., necesarias para los procedimientos establecidos en el presente método.

**5.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

**6.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** Será un volumen de pétreo aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

**7.- Preparación de la Muestra de Ensaye.**

**7.1** Pueden emplearse pétreos provenientes del ensaye de tamizado, debidamente homogeneizados.

**7.2** Seque la muestra de ensaye hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  y homogenícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

**8.- Determinación de la Densidad Aparente Compactada.**

**8.1 Procedimiento por Apisonado.** Se aplica a pétreos de tamaño nominal igual o menor que 50 mm.

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de pétreo por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
- d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.

- e) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar ( Nota 1).
- f) Determine y registre la masa (kg) del pétreo compactado que llena la medida, aproximando al 0,1 %.

**Nota 1:** En los pétreos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

**8.2 Procedimiento por Percusión.** Se aplica a los pétreos de tamaño máximo nominal o superior que 50 mm e igual o inferior que 100 mm.

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de pétreo por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa.
- c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
- d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.
- e) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar ( Nota 1).
- f) Determine y registre la masa (kg) del pétreo compactado que llena la medida, aproximando al 0,1 %.

## 9.- Determinación de la Densidad Aparente Suelta.

**9.1 Procedimiento por Simple Vaciado.** Se aplica a los pétreos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

**Nota 2:** Este procedimiento es también aplicable a los pétreos finos en estado húmedo.

- a) Llene la medida con una pala o poruña, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- b) Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Nota 1).
- d) Determine y registre la masa (kg) del pétreo suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

## 10.- Expresión de los Resultados.

**10.1 Densidad Aparente Compactada ( $\rho_{ac}$ ).** Calcule la densidad aparente compactada para cada ensaye según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>:

$$\rho_{ac} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{mc}{v}$$

donde:

- mc : Masa de pétreo compactado que llena la medida (kg)
- v : Capacidad volumétrica de la medida (m<sup>3</sup>).

**10.2 Densidad Aparente Suelta ( $\rho_{as}$ ).** Calcule la densidad aparente suelta (Nota 3) para cada ensaye según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_{as} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{ms}{V}$$

donde:

- ms : Masa del pétreo suelto que llena la medida (kg)  
V : Capacidad volumétrica de la medida (m<sup>3</sup>).

**10.3** Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas, aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>.

### 11.- Aceptación de Resultados.

**11.1** Acepte la determinación de cada densidad aparente cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que 30 kg/m<sup>3</sup>.

**11.2** Ensaye dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 11.1.

**Nota 3:** Para el uso de los pétreos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{as} \text{ húmeda (kg/m}^3\text{)} = \frac{ms \text{ húmeda}}{V}$$

Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensaye sobre muestras gemelas deberá ser igual o inferior que 50 kg/m<sup>3</sup>.

Cuando se realice este ensaye, en el Informe deberá indicarse también el contenido de humedad del pétreo expresado como porcentaje de la masa del pétreo seco.

**12.- Informe.** El informe incluirá lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Clase de pétreo.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Procedimiento del ensaye empleado.
- e) Resultado del ensaye.
- f) Fecha de ensaye.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo.

## 8.202.20 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS GRUESOS\*

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

1.1 Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.

1.2 Es aplicable a los pétreos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

\*El Método 8.202.20 es una adaptación de la norma NCh 1117 E of. 77.

### 2.- Referencias.

- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.
- Método 8.102.2 Suelos: Método para determinar el contenido de humedad.

### 3.- Terminología.

3.1 **Pétreo Grueso.** Material pétreo retenido en el tamiz de 5 mm (ASTM N° 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,5 mm (ASTM N° 8) cuando se utiliza en asfaltos.

3.2 **Huecos.** Espacios vacíos entre las partículas de un material pétreo.

3.3 **Poros.** Espacios vacíos interiores de una partícula de material pétreo.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

3.4 **Densidad ( $\rho$ ).** Es el cociente entre la masa ( $m$ ) y el volumen ( $v$ ) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m<sup>3</sup>.

- a) **Densidad Real ( $\rho_R$ ).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
  - **Densidad real del pétreo seco ( $\rho_{RS}$ ).** Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
  - **Densidad real del pétreo saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ ).** Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) **Densidad Neta ( $\rho_N$ ).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

3.5 **Absorción de Agua ( $\alpha$ ).** Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

3.6 **Pétreo Seco.** Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a  $110 \pm 5^\circ$  C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

4.- **Resumen del Procedimiento.** El material pétreo se sumerge en agua durante 24 h con el objeto de llenar los poros. Transcurrido este tiempo retire la muestra del agua, seque superficialmente las partículas y registre su peso en esta condición. Sumerja nuevamente en agua y registre la masa obtenida. Finalmente seque la muestra hasta masa constante y pese, registrándose la masa obtenida. Basándose en las pesadas anteriores y utilizando las fórmulas que se incluyen en el presente método, calcule la densidad real, la densidad neta y la absorción.

## 5.- Equipos.

**5.1 Balanza.** De capacidad superior a la masa del canastillo portamuestra más la masa de la muestra de ensaye y una resolución mínima de 1 g.

**5.2 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**5.3 Canastillo portamuestra.** De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

**5.4 Estanque.** Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo portamuestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

**5.5 Recipientes.** Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensaye.

**6.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

**7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** La cantidad mínima de muestra para el ensaye se determina según la Tabla 8.202.20.A, en función del tamaño máximo nominal del árido.

**TABLA 8.202.20.A**  
**CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA SEGUN**  
**TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL ARIDO**

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
20	3.000
25	4.000
40	5.000
50	8.000

## 8.- Preparación de la Muestra de Ensaye.

**8.1** Puede emplear el material proveniente del ensaye de tamizado, debidamente homogeneizado.

**8.2** Elimine por tamizado las partículas inferiores a 5 mm, en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,5 mm, en el caso de asfaltos.

**8.3** Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.

**8.4** Seque la muestra hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5^\circ$  C.

**8.5** Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de  $24 \pm 4$  h.

**8.6** Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de  $24 \pm 4$  h.

**Nota 1:** Se debe tener presente que existen pétreos cuya saturación no se completa en 24 h. En ese caso es necesario continuar el control de absorción hasta que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de inmersión, difieran en un porcentaje igual o inferior que el 0,1 % de la menor masa determinada.

**9.- Procedimiento.** Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensaye:

**9.1 Pesada al Aire Ambiente del Pétreo Saturado Superficialmente Seco.**

- a) Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el pétreo, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- b) Determine inmediatamente la masa del pétreo saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como  $M_{SSS}$ .

**9.2 Pesada sumergida.**

- a) Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo portamuestra.
- b) Sumerja el canastillo en agua a  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ , por un período de al menos 3 min.
- c) Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como  $M_{SUM}$ .

**Nota 2:** Mantenga el canastillo y su contenido totalmente sumergidos durante la operación. Debe procurarse que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

**9.3 Pesada al Aire Ambiente del Pétreo Seco.**

- a) Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .
- c) Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.
- d) Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como  $M_S$ .

**10.- Cálculos.**

**10.1 Densidad Real ( $\rho_R$ ).**

- a) Densidad real del pétreo saturado superficialmente seco ( $\rho_{RT}$ ). Calcule la densidad real del pétreo saturado superficialmente seco según la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ kg/m}^3$ .

$$\rho_{RT} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- b) Densidad real del pétreo seco ( $\rho_{RS}$ ). Calcule la densidad real del pétreo seco según la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ kg/m}^3$ :

$$\rho_{RS} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**10.2 Densidad Neta ( $\rho_N$ ).** Calcule la densidad neta según la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ kg/m}^3$ .

$$\rho_N \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_S}{M_S - M_{SUM}} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**10.3 Absorción de Agua ( $\alpha$ ).** Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje.

$$\alpha \text{ (\%)} = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100$$

donde:

- $\rho$  : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)
- $\alpha$  : Absorción (%)
- $M_{SUM}$  : Masa del pétreo sumergida (g).
- $M_{SSS}$  : Masa del pétreo saturado superficialmente seco (g).
- $M_S$  : Masa del pétreo seco (g).

**Nota 3:** Para efectos prácticos se considerará la densidad del agua como 1.000 kg/m<sup>3</sup> en lugar del valor real a 20 °C que es 998,20 kg/m<sup>3</sup>.

## 11.- Expresión de Resultados.

**11.1** Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un pétreo como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

**11.2** Exprese las densidades en kg/m<sup>3</sup>, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>. Exprese la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

**12.- Aceptación de Resultados.** Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los pétreos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

**12.1** Igual o inferior que 20 kg/m<sup>3</sup> en la determinación de densidades.

**12.1** Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

**13.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha de ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo analizado.
- g) Referencia a este método.

## 8.202.21 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCION DE AGUA EN PETREOS FINOS\*

### 1.- Alcances y campo de Aplicación.

1.1 Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos finos.

1.2 Es aplicable a los pétreos finos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

\*El Método 8.202.21 es una adaptación de la norma NCh 1239 of. 77.

### 2.- Referencias.

- Método 8.102.2 Suelos: Método para determinar el contenido de humedad.
- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.202.2 Agregados pétreos: Método para el cuarteo de muestras.

### 3.- Terminología.

3.1 **Pétreo Fino.** Material pétreo que pasa el tamiz de 5 mm (ASTM N° 4) en el caso de hormigones, y que pasa el tamiz de 2,5 mm (ASTM N° 8) cuando se utiliza en asfaltos.

3.2 **Huecos.** Espacios vacíos entre las partículas de un material pétreo.

3.3 **Poros.** Espacios vacíos interiores de una partícula de material pétreo.

- a) Poro Accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro Inaccesible: poro impermeable o cerrado.

3.4 **Densidad ( $\rho$ ).** Es el cociente entre la masa ( $m$ ) y el volumen ( $v$ ) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m<sup>3</sup>.

- a) **Densidad Real ( $\rho_R$ ).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
  - **Densidad Real del Pétreo Seco ( $\rho_{RS}$ ).** Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
  - **Densidad Real del Pétreo Saturado Superficialmente Seco ( $\rho_{RT}$ ).** Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) **Densidad Neta ( $\rho_N$ ).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

3.5 **Absorción de Agua ( $\alpha$ ).** Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

3.6 **Pétreo Seco.** Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a  $110 \pm 5$  °C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

4.- **Resumen del Procedimiento.** Acondicione la muestra de pétreo fino, determinando su masa en condiciones seca y saturada superficialmente seca.

Calcule el volumen como la masa de agua desplazada por el pétreo fino sumergido en un matraz aforado. Finalmente, calcule la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua, en función de los valores obtenidos en las diferentes condiciones de determinación de masas.

## 5.- Equipo.

**5.1 Balanza.** De capacidad superior a 1 kg y una resolución mínima de 0,1 g.

**5.2 Horno.** Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**5.3 Recipientes.** Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensaye.

**5.4 Matraz.** Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensaye. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de  $\pm 0,1$  ml. Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de pétreo fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

**5.5 Molde.** Con forma tronco - cónica, de  $40 \pm 3$  mm de diámetro en la parte superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.

**5.6 Pisón.** Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro. Debe tener una masa de  $340 \pm 15$  g.

**6.- Extracción de Muestras.** Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos 8.202.1 y 8.202.2.

**7.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** Para cada ensaye se usará una cantidad de pétreo fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

## 8.- Preparación de la Muestra de Ensaye.

**8.1** Corte el material retenido en tamiz de referencia (5 mm para hormigón o 2,5 mm para asfalto).

**8.2** Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Ensaye la fracción retenida de acuerdo con el Método 8.202.20 y la fracción que pasa de acuerdo con este Método de ensaye.

**8.3** Reduzca por cuarteo, de acuerdo con el Método 8.202.2, la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en punto 8.2, a una cantidad de pétreo de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

**Nota 1:** La muestra debe humedecerse antes de efectuar la reducción para evitar la segregación y pérdidas de polvo.

**8.4** Seque el pétreo en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C.

**8.5** Cubra el pétreo en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de  $24 \pm 4$  h.

## 9.- Procedimiento.

**9.1** Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

**Nota 2:** La eliminación del exceso de agua de la muestra no se debe realizar a fuego directo, ni tampoco utilizar para ello fuertes corrientes de aire.

**9.2** Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el pétreo en condición suelta en una capa y enrrese.

**9.3** Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del agregado. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.

**9.4** Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes, desde 9.1. Cuando, al retirar el molde, el agregado caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.

**Nota 3:** La primera verificación de humedad mediante el moldeo del cono debe hacerse cuando aún permanece un mínimo de agua libre, por lo tanto, si el cono se asienta en esta primera verificación, mezcle unos pocos  $\text{cm}^3$  de agua con el pétreo y déjelo en un recipiente cubierto durante 30 min y proceda desde 9.1.

**9.5** Inmediatamente que el pétreo alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensaye requerido, pese y registre su masa.

**9.6** Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ , hasta alcanzar aproximadamente 2/3 del volumen del matraz.

**9.7** Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de pétreos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.

**9.8** Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ .

**9.9** Llene con agua a  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.

**9.10** Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensaye y el agua (Mm).

**9.11** Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ . Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensaye en condición seca (ms).

**9.12** Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  hasta la marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (Ma).

## 10.- Cálculos.

### 10.1 Densidad Real

a) Densidad Real del pétreo saturado superficialmente seco ( $\rho_{\text{PT}}$ ). Calcule la densidad real del pétreo saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a  $1 \text{ kg/m}^3$ :

$$\rho_{RT} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_{SS}}{M_a + M_{SS} + M_m} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{RS} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_s}{M_a + M_{SS} - M_m} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**b)** Densidad Real del Pétreo Seco ( $\rho_{RS}$ ). Calcule la densidad real del pétreo seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>:

**10.2** Densidad Neta ( $\rho_N$ ). Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>:

$$\rho_N \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**10.3** Absorción de Agua ( $\alpha$ ). Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje:

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SS} - M_s}{M_s} \times 100$$

donde:

$\rho$  : Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$\alpha$  : Absorción (%).

$M_s$ : Masa de la muestra seca (g).

$M_{SS}$  : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

$M_a$  : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g).

$M_m$  : Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

## 11.- Expresión de Resultados.

**11.1** La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un pétreo fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

**11.2** En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensaye por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{1}{100} \times (\rho_r \times P_r + \rho_p \times P_p)$$

$$\alpha(\%) = \frac{1}{100} \times (\alpha_r \times P_r + \alpha_p \times P_p)$$

donde:

$\rho$  : Densidad (real o neta) del integral (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_r$  : Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_p$  : Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m<sup>3</sup>).

$P_r$  : Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).

$P_p$  : Porcentaje en masa de la fracción que pasa, (%).

$\alpha$  : Absorción de agua del integral (%).

$\alpha_r$  : Absorción de agua de la fracción retenida (%).

$\alpha_p$  : Absorción de agua de la fracción que pasa (%).

**11.3** Exprese las densidades en  $\text{kg/m}^3$ , aproximando a  $1 \text{ kg/m}^3$ , y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

**12.- Aceptación de Resultados.** Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los pétreos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- a) Igual o inferior que  $20 \text{ kg/m}^3$  en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

**13.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha de ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al pétreo analizado.
- g) Referencia a este método.



## **8.202.22 AGREGADOS PETREOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL.**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método cubre procedimientos para ensayar agregados gruesos y finos por resistencia a la abrasión usando el aparato Micro-Deval.

### **2.- Referencias**

- Normas AASHTO Designación TP58-00,
- Normas MTO – LS-619 (Ministry of Transportation, Ontario, Canadá)

### **3.- Resumen del Método**

**3.1 Agregado Grueso.** El ensaye Micro-Deval es una medida de la resistencia a la abrasión y durabilidad de agregados pétreos que han sido sometidos a la acción combinada de abrasión y molienda con bolas de acero en presencia de agua. Para ello una muestra con graduación normal es inicialmente sumergida en agua por no menos de una hora. La muestra es entonces colocada en un recipiente de acero con 2,0 litros de agua y una carga abrasiva consistente de 5.000 g de bolas de acero de 9,5 mm de diámetro. El recipiente, agregado pétreo, agua y carga se rotan a 100 rpm por 2 horas. La muestra luego es lavada y secada en horno.

**3.2 Agregado Fino.** El ensaye Micro-Deval para agregados gruesos fue modificado para agregados finos como sigue:

La muestra de agregado consistirá de material que pasa malla de 4,75 mm (agregado fino). Se separa una muestra representativa de  $725 \pm 25$  g para el ensaye Micro-Deval y se lava en malla de  $75 \mu\text{m}$  y se seca en horno a peso constante. Después se separa en mallas y se construye una granulometría determinada. Después de saturada, la muestra se hace rotar en el aparato Micro-Deval, con una carga abrasiva y agua y se determina la pérdida al final del proceso.

**4.- Significado y Uso.** El Ensaye Micro-Deval es un ensaye desarrollado inicialmente para agregados gruesos, pero su uso se extendió también para agregados finos a fin de determinar la pérdida por abrasión en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles en estado húmedo que secos, y el uso del agua en este ensaye mide esta reducción de resistencia en contraste con otros ensayos que se realizan con agregados secos. Proporciona información útil para juzgar la resistencia dureza/abrasión y durabilidad/solidez de agregados sujetos a abrasión y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información adecuada de este tipo de comportamiento.

El ensaye Micro-Deval es un ensaye útil como control de calidad que detecta cambios en las propiedades de un agregado producido de una fuente como parte de un control de calidad o para asegurar la calidad de un proceso.

### **5.- Aparatos**

**5.1 Máquina de Abrasión Micro-Deval.** Un molino capaz de hacer rotar un recipiente a  $100 \pm 5$  rpm (Lámina 8.202.22.A).

**5.2 Recipientes.** Tiestos para abrasión Micro-Deval de acero inoxidable de una capacidad de 5 litros y con un anillo de goma en la tapa rotatoria de cierre. Diámetro interno de  $194 \pm 2,0$  mm, altura interna de  $170 \pm 2,0$  mm. Las superficies internas y externas del recipiente deben ser suaves y no mostrar bordes o hendiduras observables (Lámina 8.202.22.A).

**5.3 Carga Abrasiva.** – Se requieren bolas de acero inoxidable magnéticas; ellas deben tener un diámetro de  $9,5 \pm 0,5$  mm. Cada recipiente requiere una carga de bolas de  $5.000 \pm 5$  g., para el agregado grueso y de  $1250 \pm 5$  g para el agregado fino.

**5.4 Mallas.** – Mallas de aberturas cuadradas y de las siguientes medidas de acuerdo a especificaciones AASHTO M92: Para los agregados gruesos: 20,0 mm, 16,0 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,7 mm, 5 mm, 1,25 mm, 75  $\mu$ m, y para los agregados finos: 4,74 mm; 2;36 mm, 1,18 mm;. 600  $\mu$ m; 300  $\mu$ m; 150  $\mu$ m y 75  $\mu$ m.

**5.5 Horno.** Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**5.6 Balanza.** – Una balanza con resolución de 1,0 g.

**5.7 Agregado para Control de Laboratorio.** Una provisión de un Agregado Normal determinado que tenga un registro de datos de ensayos Micro-Deval estadísticamente confiable.

## 6.- Muestra de Ensaye

**6.1** La muestra de ensaye debe ser lavada y secada en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante. Separada en fracciones de tamaños individuales de acuerdo con Tabla 8.202.22.A y recombinada para cumplir la graduación que se muestra en el punto 7.1.2.

**6.1.2** La muestra para el ensaye consistirá de  $1.500 \pm 5$  g de agregado secado al aire.

Se preparará de acuerdo a Tabla 8.202.22.A.

**TABLA 8.202.22.A**

Abertura Malla (mm)		Graduaciones de las Muestras de Agregado Grueso		
Pasa	Retenido	Grado 1 (g)	Grado 2 (g)	Grado 3 (g)
20,0	10	1.500		
12,5	5		1500	
10	5			1500

Para agregado cuyo tamaño máximo nominal sea 20 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 1

Para agregado cuyo tamaño máximo nominal sea 12,5 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 2

Para agregado cuyo tamaño máximo nominal sea 10 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 3

## 7.- Procedimiento de Ensaye

### 7.1 Agregado Grueso

- Prepare una muestra representativa de  $1.500 \pm 5$  g. Registre la masa como A, con aproximación a 0,1 g.
- Sature la muestra en  $2,0 \pm 0,05$  litros de agua de la llave (temperatura de  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ) por un mínimo de 1 hora ya sea en el recipiente del Micro-Deval o algún otro recipiente apropiado.
- Coloque la muestra en el recipiente de abrasión del Micro-Deval con  $5.000 \text{ g} \pm 5$  g de bolas de acero y el agua usada en saturar la muestra. Coloque el recipiente del Micro-Deval en la máquina.
- Rote la máquina, a una velocidad de  $100 \pm 5$  rpm, el tiempo que se indica en la Tabla 8.202.22.B, de acuerdo a su graduación.

**TABLA 8.202.22.B**  
**TIEMPO INDICADO PARA CADA GRADUACION**

Graduación (mm)	Tiempo de Rotación (min.)
Grado 1	120 ± 1
Grado 2	105 ± 1
Grado 3	95 ± 1

- Vierta la muestra cuidadosamente sobre dos mallas superpuestas de 5 mm y 1,25 mm. Cuide de vaciar toda la muestra del recipiente de acero inoxidable. Lave y manipule con agua el material retenido usando una manguera con control manual hasta que el agua de lavado esté clara y todo el material menor a 1,25 mm haya pasado la malla.  
Remueva las bolas de acero inoxidable usando un imán u otro medio apropiado. Deseche todo material menor de 1,25 mm.
- Combine el material retenido en mallas de 5 y 1,25 mm, cuidando de no tener perdidas de material.
- Seque la muestra en horno hasta masa constante a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Pese la muestra aproximando a 1,0 g. Registre la masa como B.

## 7.2 Agregado Fino (Arena)

- La muestra de agregado consistirá de material que pasa malla de 4,75 mm (agregado fino). Separe una muestra representativa de  $725 \pm 25$  g para el ensaye Micro-Deval y lávela en malla de  $75 \mu\text{m}$  y séquela en horno a peso constante.
- La muestra se separa en mallas y se combina para producir un Módulo de Fineza de 2,8, usando la graduación que se indica en Tabla 8.202.22.C.

**TABLA 8.202.22.C**  
**GRADUACION DE AGREGADO FINO COMBINADO**

Pasa Malla (AASHTO M92)	Retenido Malla	Masa (g)
4,74 mm	2,36 mm	170
2,36 mm	1,18 mm	115
1,18 mm	600 $\mu\text{m}$	75
600 $\mu\text{m}$	300 $\mu\text{m}$	55
300 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	50
150 $\mu\text{m}$	75 $\mu\text{m}$	35
	TOTAL	500 g

**Nota 1:** Cuando ensayes previos han mostrado que la pérdida de material de una fuente ha sido menos de 17 %, puede ensayarse una muestra representativa de  $500 \pm 5$  g de la original de 725 g sin separarla en mallas individuales. El ensaye de materiales de baja pérdida en Micro-Deval sin separar en mallas individuales tiene poco efecto en la medida de pérdidas y puede reducir considerablemente la complejidad del ensaye. Si el ensaye muestra pérdidas  $> 17\%$ , entonces se debe ensayar otra muestra de acuerdo a la preparación indicada precedentemente. La pérdida a informar debe ser la de este último ensaye.

- Registre la masa "A" al más cercano 0,1 g.
- Sumerja la muestra en agua de la llave a temperatura ambiente por 24 horas.
- Vacíe el exceso de agua y coloque la muestra en el recipiente de acero (5 l) con  $1.250 \pm 5$  g de bolas de acero y 750 ml de agua.
- Haga rotar el molino a  $100 \pm 5$  rpm por 15 minutos  $\pm 10$  segundos.
- Remueva las bolas de la muestra pasando la muestra y agua a través de una malla de 6,7 mm sobre una paila. Lave la muestra cuidadosamente sobre una malla de  $75 \mu\text{m}$ . cuidando de no perder ningún material sobre la malla de  $75 \mu\text{m}$
- Seque en horno la muestra a masa constante a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Pese la muestra aproximando a 0,1 g. Registre la masa como B.

**8.- Cálculos.** Calcule la pérdida de abrasión Micro-Deval, aproximando a 0,1%, como sigue:

$$\text{Porcentaje de Pérdida} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

**9.- Uso de un Agregado de Control de Laboratorio**

**9.1** Cada 10 muestras, o al menos cada semana en que se ensaya una muestra, se debe ensayar también una muestra normal de referencia. El material debe tomarse del depósito de reserva para control y preparado de acuerdo al punto 6.

**9.2 Uso de la Carta de Tendencia.** El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de control debe dibujarse en una carta de tendencia para controlar las variaciones de los resultados (Lámina 8.202.22.B).

**9.3** La pérdida promedio del agregado de control debe estimarse a través de un control de estos ensayos.

**10.- Informe.** El informe deberá incluir lo siguiente:

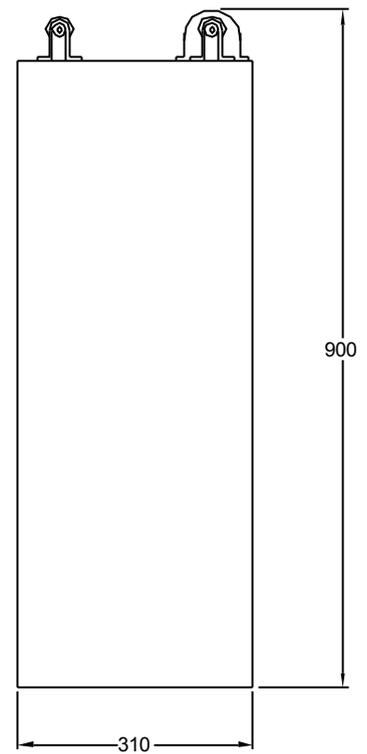
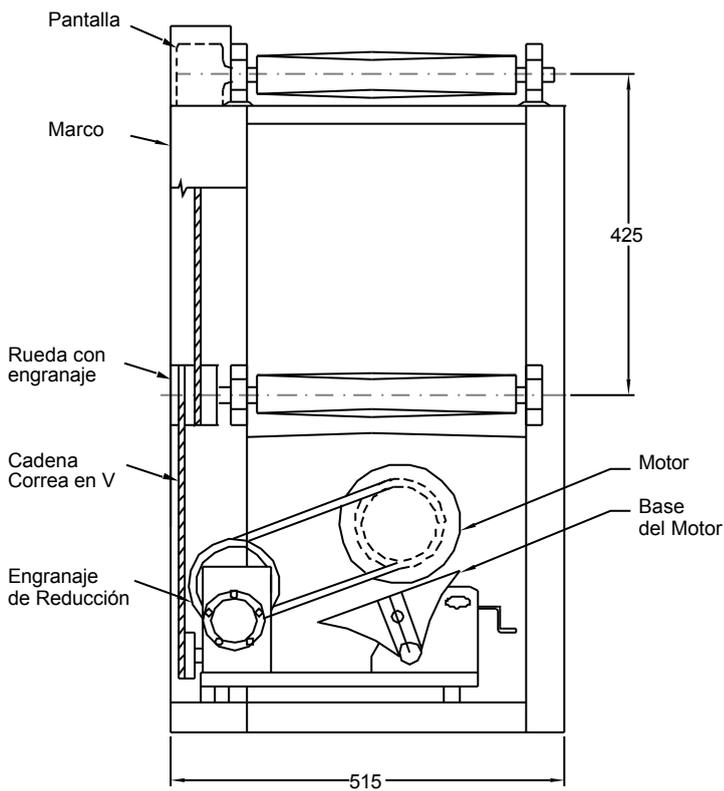
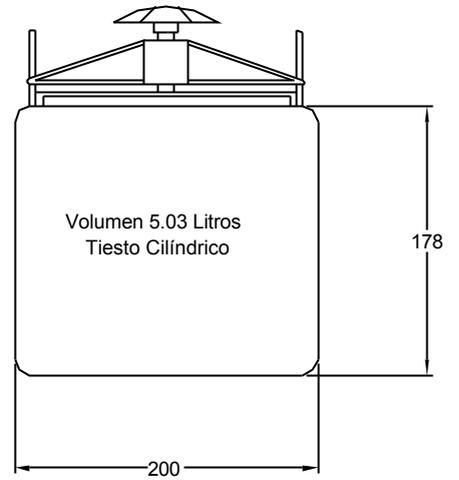
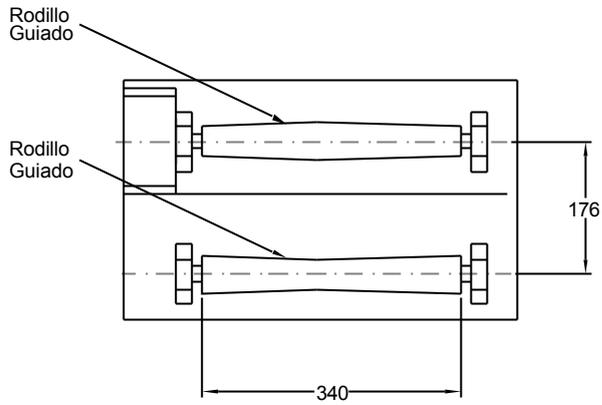
- El tamaño máximo absoluto o nominal del agregado ensayado y la graduación usada.
- El porcentaje de pérdida de la muestra de ensaye con un decimal.
- El porcentaje de pérdida del agregado de control, ensayado lo más cercano al tiempo en que se ensayó el agregado, con una cifra decimal.
- El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de referencia en la Carta de Tendencia.

**11.- Precisión.** La precisión Multilaboratorio se ha encontrado que varía sobre el rango de este ensaye. Las cifras dadas en la segunda columna de la Tabla 8.202.22.D son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los materiales descritos en la primera columna. Las cifras dadas en la tercera columna son los límites que no se deben exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos correctamente realizados, expresados como porcentaje de su promedio.

**TABLA 8.202.22.D  
PRECISION MULTILABORATORIO**

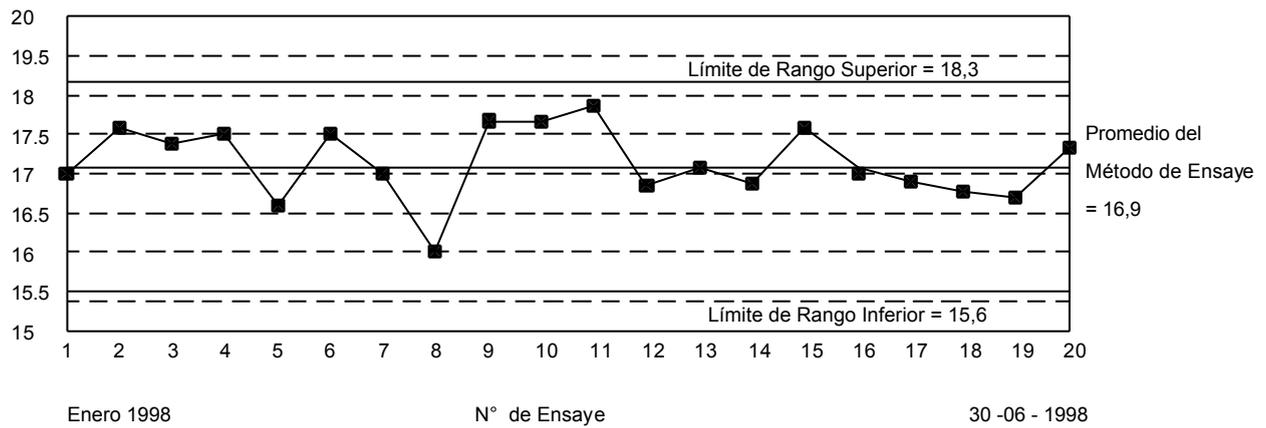
<b>Pérdida por Abrasión del Agregado (%)</b>	<b>Coficiente de Variación (Porcentaje del promedio) <sup>(1)</sup></b>	<b>Rango Aceptable de dos Resultados (Porcentaje del promedio) <sup>(1)</sup></b>
5	10,0	28
12	6,4	18
17	5,6	16
21	5,3	15

<sup>(1)</sup> Estas cifras representan, respectivamente, los límites del (1s%) y (d2s%) tal como se describen en ASTM C760.



Dimensiones en mm.

CONTROL DE AGREGADO DE REFERENCIA



# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.300 ASFALTOS**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE  
CAPITULO 8.300 ASFALTOS**

**INTRODUCCION**

**SECCION 8.301 ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS**

- 8.301.1 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS SEGUN GRADO DE VISCOSIDAD
- 8.301.2 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO RAPIDO
- 8.301.3 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO MEDIO
- 8.301.4 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS
- 8.301.5 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS
- 8.301.6 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLIMEROS
- 8.301.7 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES MODIFICADAS CON POLIMEROS
- 8.301.8 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFALTICOS
- 8.301.9 ASFALTOS: ESPECIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PREDOSIFICADAS PARA BACHEO

**SECCION 8.302 METODOS PARA ASFALTOS**

- 8.302.1 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO
- 8.302.2 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
- 8.302.3 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PENETRACION
- 8.302.4 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE DESTILACION PARA ASFALTOS CORTADOS
- 8.302.5 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE PARA EMULSIONES
- 8.302.6 (EN BLANCO)
- 8.302.7 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE LA MANCHA
- 8.302.8 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD
- 8.302.9 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACION Y COMBUSTION MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND
- 8.302.10 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACION MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG
- 8.302.11 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGANICOS
- 8.302.12 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT
- 8.302.13 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMATICA
- 8.302.14 ASFALTOS: METODO PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMATICA A SAYBOLT UNIVERSAL Y A SAYBOLT FUROL
- 8.302.15 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD MEDIANTE VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO

- 8.302.16 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA
- 8.302.17 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS
- 8.302.18 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TERMICA MEDIANTE EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM
- 8.302.19 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE RECUPERACION ELASTICA PARA ASFALTOS MODIFICADOS
- 8.302.20 ASFALTOS: METODOS DE ENSAYE PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT.
- 8.302.21 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE PENETRACION EN ASFALTOS MODIFICADOS
- 8.302.22 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE MEDICION DE PROPIEDADES REOLOGICAS MEDIANTE EL REOMETRO DE CORTE DINAMICO
- 8.302.23 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFALTICOS EN CAMARA A PRESION (PAV)
- 8.302.24 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD
- 8.302.25 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXION A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REOMETRO DE VIGA DE FLEXION
- 8.302.26 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA DEFORMACION A LA ROTURA EN EL ENSAYE DE TRACCION DIRECTA
- 8.302.27 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO DE MEZCLAS
- 8.302.28 ASFALTOS: METODO PARA ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION
- 8.302.29 ASFALTOS: METODO ESTATICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE ASFALTICO
- 8.302.30 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE ASFALTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL - WEBER)
- 8.302.31 ASFALTOS: METODO DINAMICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE
- 8.302.32 (EN BLANCO)
- 8.302.33 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PELICULA DELGADA ROTATORIA
- 8.302.34 ASFALTOS: METODO ABSON PARA LA RECUPERACION DE ASFALTO
- 8.302.35 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE MEDIANTE EL EQUIVALENTE CENTRIFUGO DE KEROSENE (ECK)
- 8.302.36 ASFALTOS: METODO PARA SEPARAR EL LIGANTE DE UNA MEZCLA ASFALTICA O TESTIGO, POR CENTRIFUGACION, PARA POSTERIOR ENSAYE DE RECUPERACION DEL LIGANTE ASFALTICO
- 8.302.37 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MAXIMA DE MEZCLAS ASFALTICAS SIN COMPACTAR
- 8.302.38 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS
- 8.302.39 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLATILES EN MEZCLAS ASFALTICAS
- 8.302.40 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL
- 8.302.41 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFALTICAS COMPACTADAS
- 8.302.42 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DEFORMACION EN MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO LA MAQUINA DE AHUELLAMIENTO
- 8.302.43 ASFALTOS: METODO SCHULZE-BREUER Y RUCK PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD FILLER-LIGANTE ASFALTICO.
- 8.302.44 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES
- 8.302.45 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LECHADAS ASFALTICAS
- 8.302.46 ASFALTOS: METODO DE ABRASION EN MEDIO HUMEDO PARA LECHADAS ASFALTICAS
- 8.302.47 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO MARSHALL
- 8.302.48 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS

- 8.302.49 ASFALTOS: MÉTODO THOMAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO
- 8.302.50 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
- 8.302.51 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN
- 8.302.52 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN FRÍO
- 8.302.53 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA
- 8.302.54 ASFALTOS: MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE.
- 8.302.55 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE
- 8.302.56 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN
- 8.302.57 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS
- 8.302.58 ASFALTOS: MÉTODO DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN
- 8.302.59 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE ADHERENCIA ENTRE AGREGADOS PÉTREOS Y LIGANTE ASFÁLTICO, EMPLEANDO EL MÉTODO DEL HERVIDO
- 8.302.60 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE COHESIÓN DE MEZCLA EN FRÍO PARA BACHEO
- 8.302.61 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD RETENIDA MARSHALL DE MEZCLAS EN FRÍO PARA BACHEO
- 8.302.62 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE TRABAJABILIDAD DE MEZCLAS EN FRÍO PARA BACHEO



**MANUAL DE CARRETERAS**  
**VOLUMEN 8**  
**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**  
**CAPITULO 8.300 ASFALTOS**

**INTRODUCCION**

El Capítulo 8.300 Asfaltos, contiene las exigencias a que deben ajustarse los productos asfálticos a incorporar en las mezclas para pavimentos y describe los procedimientos que se han definido para determinar las propiedades de esas mezclas. Al igual que otros Capítulos de este Manual, éste se presenta dividido en dos partes; la primera Especificaciones, está dedicada a establecer los requisitos, en tanto que en la segunda se describen los procedimientos para realizar los ensayos propiamente tales.

Se incluyen 8 Especificaciones (8.301.1 al 8.301.8) destinadas a establecer los requisitos que se exigen a los ligantes bituminosos (cementos asfálticos, emulsiones y asfaltos modificados) destinados a la preparación de mezclas asfálticas y otros objetivos

Los procedimientos para ensayar los materiales son 58 Métodos numerados correlativamente desde el 8.302.1 al 8.302.58. La lista se presenta siguiendo la numeración correlativa, sin separaciones, sin embargo, ella guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Los primeros 17 Métodos (8.302.1 al 8.302.17) constituyen un grupo que se refiere fundamentalmente a ensayos que se realizan para establecer las propiedades de los ligantes que pueden denominarse comunes, es decir, sin agentes que les alteren sus propiedades. Entre estos procedimientos se encuentran; la forma de realizar los muestreos y la determinación de las propiedades físicas y químicas de los ligantes.

Los siguientes 9 Métodos (8.302.18 al 8.302.26) se refieren a los ensayos que se deben realizar para establecer las características de los ligantes modificados. En general, corresponden a los procedimientos emanados de las investigaciones del denominado programa SHRP; se incluyen ensayos para determinar susceptibilidades térmicas, propiedades reológicas, viscosidad, etc.

Los 19 Métodos comprendidos por la numeración 8.302.27 al 8.302.45, están destinados a determinar las propiedades de las mezclas asfálticas. Se incluyen desde los procedimientos de muestreo hasta la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de esas mezclas. Entre otros, se pueden mencionar procedimientos para determinar graduaciones de los agregados, determinación de la adherencia pétreo -ligante, determinación del contenido de ligante y verificación de densidades y espesores de mezclas colocadas en el camino.

Los 7 métodos siguientes (8.302.46 a la 8.302.52) se refieren a los procedimientos que deben utilizarse para diseñar mezclas asfálticas tales como lechadas asfálticas, concreto asfáltico y tratamientos superficiales.

A partir del Método 8.302.53 y hasta el último (8.302.58), se incluye una serie de procedimientos que son alternativos o complementarios a los descritos antes; entre otros, determinación de la cantidad de ligante mediante la rueda de carga, ensaye Cántabro para caracterizar una mezcla, y procedimientos para establecer el contenido de asfalto.



## CAPITULO 8.300 ASFALTOS

### SECCION 8.301 ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS

#### 8.301.1 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN GRADO DE VISCOSIDAD

##### 1.- Alcances y Campo de Aplicación

Esta especificación cubre los cementos asfálticos CA 24, cuya viscosidad absoluta será mayor o igual que 2400 poises, y cemento asfáltico CA 14, cuya viscosidad absoluta será mayor o igual que 1400 poises y menor a 2400 poises. La viscosidad será medida a 60°C y 300 mm Hg.

##### 2.- Propiedades

El cemento asfáltico será homogéneo, libre de agua y no deberá formar espuma cuando se caliente a 175°C.

##### 3.- Métodos de Muestreo y Ensaye

3.1 El muestreo y ensaye de los cementos asfálticos estará de acuerdo con los siguientes métodos establecidos por la Dirección de Vialidad:

Muestreo	Método 8.302.1
Viscosidad absoluta	Método 8.302.15
Penetración	Método 8.302.3
Ductilidad	Método 8.302.8
Punto de inflamación	Método 8.302.9
Solubilidad	Método 8.302.11
Ensaye de la mancha	Método 8.302.7
Punto de ablandamiento	Método 8.302.16
Ensaye de película delgada rotatoria	Método 8.302.33
Índice de Penetración	Método 8.302.18

3.2 La Tabla 8.301.1.A entrega las especificaciones para los cementos asfálticos, de acuerdo con su grado de viscosidad.

**Tabla 8.301.1.A**  
**Especificaciones para los Cementos Asfálticos**  
**Según Grado de Viscosidad**

Ensayes	Grado de Viscosidad	
	CA 24	CA 14
Viscosidad absoluta a 60°C, 300 mm Hg, poises	Mín. 2400	Mín. 1400
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	Mín 40	Mín 40
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	Mín. 100	Mín. 100
Ensaye de la Mancha (% xilol)	Máx. 30%	Máx. 30%
Solubilidad en tricloroetileno, %	Mín. 99	Mín. 99
Punto de Inflamación, °C	Mín. 232	Mín. 232
Punto de Ablandamiento, °C	Informar	Informar
Índice de Penetración	-2,0 a +1,0	-2,0 a +1,0
Película Delgada Rotatoria:		
- Pérdida por calentamiento (%)	Máx. 0,8	Máx. 0,8
- Viscosidad absoluta a 60°C, 300 mm Hg, poises	Informar	Informar
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	Mín. 100	Mín. 100
Índice de Durabilidad	Máx. 4	Máx. 4

**Nota 1:** Ningún Proyecto podrá tener una exigencia de viscosidad absoluta original para el ligante asfáltico diferente del valor mínimo indicado en la especificación.

**Nota 2:** Ningún Proyecto podrá especificar asfaltos clasificados por penetración.

## 8.301.2 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO RAPIDO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método entrega las especificaciones para productos de petróleo líquido del tipo curado rápido, de uso en construcción y tratamiento de pavimentos.

**2.- Referencias.** Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM D 5 Método de ensaye de penetración de materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 95 Método de ensaye por destilación para determinación del agua en productos del petróleo y materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 113 Método de ensaye de ductilidad para materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 140 Método de muestreo para materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 402 Método de ensaye de destilación de asfaltos cortados.
- Norma ASTM D 2042 Método de ensaye de solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno.
- Norma ASTM D 2170 Método de ensaye de viscosidad cinemática de materiales asfálticos.
- Norma ASTM D 3143 Método de ensaye del punto de inflamación de asfaltos cortados mediante la Copa Abierta Tag.

**3.- Propiedades.** Los asfaltos cortados no deben formar espuma cuando se calientan a la temperatura de aplicación y deben cumplir con los requerimientos que se indican en la Tabla 8.301.2.A.

**4.- Método de Ensaye.** El muestreo y ensaye del asfalto cortado tipo curado rápido debe estar de acuerdo con los siguientes métodos establecidos por la Dirección de Vialidad:

- |   |                 |
|---|-----------------|
| - Muestreo                                | Método 8.302.1  |
| - Punto de Inflamación (Copa Abierta Tag) | Método 8.302.10 |
| - Viscosidad Cinemática                   | Método 8.302.13 |
| - Destilación                             | Método 8.302.4  |
| - Penetración                             | Método 8.302.3  |
| - Ductilidad                              | Método 8.302.8  |
| - Solubilidad en tricloroetileno          | Método 8.302.11 |
| - Ensaye de La Mancha                     | Método 8.302.7  |
| - Viscosidad Absoluta                     | Método 8.302.15 |
| - Viscosidad Saybolt Furol                | Método 8.302.12 |

**TABLA 8.301.2.A**  
**ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO RAPIDO**

DESIGNACION	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Cinemática a 60°C, mm <sup>2</sup> /s (1)	70	140	250	500	800	1.600	3.000	6.000
Punto de Inflamación (Copa Abierta Tag), °C			27		27		27	
Destilación: - Destilado, % en volumen del total destilado a 360°C :								
A 190°C	10							
A 225°C	50		35		15			
A 260°C	70		60		45		25	
A 315°C	85		80		75		70	
- Residuo de la destilación a 360°C, % en volumen por diferencia.	55		65		75		80	
Ensayes al residuo de la destilación:								
Viscosidad a 60°C, Pa · s (2)	60	240	60	240	60	240	60	240
Ductilidad a 25°C, 5cm/min, cm. (3)	100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99,0		99,0		99,0	
Agua, %		0,2		0,2		0,2		0,2
Ensaye de la Mancha: - Heptano/Xilol (% Xilol)		30		30		30		30

**Nota 1:** Como alternativa, puede especificarse Viscosidad Saybolt Furol Second:  
 Grado RC-70 : Viscosidad Saybolt Furol a 50°C , 60 a 120 s.  
 Grado RC-250 : Viscosidad Saybolt Furol a 60°C , 125 a 250 s.  
 Grado RC-800 : Viscosidad Saybolt Furol a 82°C , 100 a 200 s.  
 Grado RC-3000 : Viscosidad Saybolt Furol a 82°C , 300 a 600 s.

**Nota 2:** En lugar de la viscosidad del residuo, opcionalmente se podrá especificar la Penetración a 5 s, 100 g y 25°C de 80 a 120 (0,1 mm) para los grados RC-70, RC-250, RC-800 y RC-3000. En ningún caso se debe requerir de ambos.

**Nota 3:** Si la ductilidad a 25°C es menor que 100, el material se aceptará si su ductilidad a 15°C es mayor que 100.

### 8.301.3 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO MEDIO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define los requisitos para productos de petróleo líquido del tipo curado medio para uso en construcción y tratamiento de pavimentos.

**2.- Referencias.** Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM D 5 Método de ensaye de penetración de materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 95 Método de ensaye por destilación para determinación del agua en productos del petróleo y materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 113 Método de ensaye de ductilidad para materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 140 Método de muestreo para materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 402 Método de ensaye de destilación de asfaltos cortados.
- Norma ASTM D 2042 Método de ensaye de solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno.
- Norma ASTM D 2170 Método de ensaye de viscosidad cinemática de materiales asfálticos.
- Norma ASTM D 3143 Método de ensaye del punto de inflamación de asfaltos cortados mediante la Copa Abierta Tag.

**3.- Propiedades.** Los asfaltos cortados no deben formar espuma cuando se calientan a la temperatura de aplicación y deben cumplir con los requerimientos descritos en la Tabla 8.301.3.A.

**4.- Método de Ensaye.** El muestreo y ensaye del asfalto cortado tipo curado medio debe estar de acuerdo con los siguientes métodos establecidos por la Dirección de Vialidad:

- Muestreo Método 8.302.1
- Punto de Inflamación ( Copa Abierta Tag ) Método 8.302.10
- Viscosidad Cinemática Método 8.302.13
- Destilación Método 8.302.4
- Penetración Método 8.302.3
- Ductilidad Método 8.302.8
- Solubilidad en tricloroetileno Método 8.302.11
- Ensaye de La Mancha Método 8.302.7
- Viscosidad Absoluta Método 8.302.15
- Viscosidad Saybolt Furol Método 8.302.12

**TABLA 8.301.3.A**  
**ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS CORTADOS TIPO CURADO MEDIO**

DESIGNACION	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Cinemática a 60°C, mm <sup>2</sup> /s (1)	30	60	70	140	250	500	800	1.600	3.000	6.000
Punto de Inflamación (Copa Abierta Tag), °C	38		38		66		66		66	
Destilación: - Destilado, % en volum en del total destilado a 360°C : A 225°C A 260°C A 315°C - Residuo de la d estilación a 360°C, % en volumen por diferencia.		30 70 93		20 60 90		10 55 87		35 80	15 15 75	
Ensayes al residuo de la destilación: Viscosidad a 60°C, Pa · s (2) Ductilidad a 25°C, 5cm/min, cm. (3) Solubilidad en Tricloroetileno, % Agua, %	30 100 99,0	120	30 100 99,0	120	30 100 99,0	120	30 100 99,0	120	30 100 99,0	120
Ensaye de la Mancha: - Heptano/Xilol (% Xilol)		30		30		30		30		30

**Nota 1:** Como alternativa, puede especificarse Viscosidad Saybolt Furol Second:

Grado MC-30 : Viscosidad Saybolt Furol a 25°C , 75 a 150 s.

Grado MC-70 : Viscosidad Saybolt Furol a 50°C , 60 a 120 s.

Grado MC-250 : Viscosidad Saybolt Furol a 60°C , 125 a 250 s.

Grado MC-800 : Viscosidad Saybolt Furol a 82°C , 100 a 200 s.

Grado MC-3000 : Viscosidad Saybolt Furol a 82°C, 300 a 600 s.

**Nota 2 :** En lugar de la viscosidad del residuo, opcionalmente se podrá especificar la Penetración a 5 s, 100 g y 25°C de 120 a 250 para los grados MC-30, MC-70, MC-250, MC-800 y MC-3000. En ningún caso se debe requerir de ambos.

**Nota 3 :** Si la ductilidad a 25°C es menor que 100, el material se aceptará si su ductilidad a 15°C es mayor que 100.

#### **8.301.4 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta Especificación incluye los requisitos de doce grados de emulsiones asfálticas para uso en construcción de pavimentos.

**2.- Referencias.** Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM D 140 Prácticas para muestreo de materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 244 Método de ensaye para emulsiones asfálticas.

**3.- Requerimientos.**

**3.1** Las emulsiones asfálticas deben ensayarse dentro de los 14 días siguientes de su despacho. Pueden presentar segregación, salvo que ella tenga su origen en un congelamiento, pero deberán ser homogéneas después de mezclarse completamente. La emulsión segregada por congelamiento no debe ensayarse.

**3.2** Las emulsiones asfálticas deberán cumplir con los requerimientos indicados en la Tabla 8.301.4.A.

**4.- Muestreo.**

**4.1** Las muestras de emulsiones asfálticas deberán tomarse de acuerdo a los procedimientos descritos en el Método 8.302.1.

**4.2** Las muestras deben almacenarse en recipientes limpios y sellados herméticamente, a una temperatura no inferior a 4°C, hasta ser ensayadas.

**5.- Método de Ensaye.** Las propiedades de las emulsiones asfálticas indicadas en la Tabla 8.301.4.A se determinarán de acuerdo con los procedimientos de ensaye especificados en el Método 8.302.5.

**6.- Términos Claves.** Aniónicas; emulsión; emulsiones asfálticas; alta flotación; quiebre medio; quiebre rápido; quiebre lento.

**TABLA 8.301.4.A**  
**REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS**

Tipo Grado	Quiebre Rápido				Quiebre Rápido Alta Flotación		Quiebre Medio					
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>Ensayes a la emulsión:</b>												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25°C, SFs	20	100	-	-	-	-	20	100	100	-	100	-
Viscosidad, Saybolt Furol a 50°C, SFs	-	-	75	400	75	400	-	-	-	-	-	-
Ensaye de estabilidad en almacenamiento, 24 h, % (1)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 ml. 0,02N CaCl <sub>2</sub> , %	60	-	60	-	60	-	-	-	-	-	-	-
<b>Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:</b>												
- Cubrimiento agregado seco	-	-	-	-	-	-	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
- Cubrimiento después de esparcido	-	-	-	-	-	-	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
- Cubrimiento agregado húmedo	-	-	-	-	-	-	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
- Cubrimiento después de esparcido	-	-	-	-	-	-	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Ensaye de Carga Particula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensaye de tamizado, % (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensaye de mezcla cemento, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Destilación:</b>												
Residuo por destilación, %	55	-	63	-	63	-	55	-	65	-	65	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ensayes al residuo de la destilación:</b>												
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de Flotación a 60°C, s	-	-	-	-	1.200	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ensaye de la Mancha:</b>												
Heptano/Xilol, % Xilol	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30

(1) El requerimiento de estos ensayos sobre muestras representativas puede omitirse si el material se está aplicando con buenos resultados en la obra.

**TABLA 8.301.4.A (Continuación)**  
**REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS**

Tipo Grado	Quiebre Medio Alta Flotación						Quiebre Lento					
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>Ensayes a la emulsión:</b>												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25°C , SFs	20	100	100	-	100	-	50	-	20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50°C , SFs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensaye de estabilidad en almacenamiento, 24 h, % (1)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 ml. 0,02N CaCl <sub>2</sub> , %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:</b>												
- Cubrimiento agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		-		-	
- Cubrimiento después de esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-		-	
- Cubrimiento agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		-		-	
- Cubrimiento después de esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-		-	
Ensaye Carga de Partícula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensaye de tamizado, % (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
Ensaye de mezcla cemento, %	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
<b>Destilación:</b>												
Residuo por Destilación, %	55	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %	-	-	-	-	-	-	1	7	-	-	-	-
<b>Ensayes al residuo de la destilación:</b>												
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	100	200	100	200	40	90	200	-	100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min , cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de Flotación a 60°C, s	1.200	-	1.200	-	1.200	-	1.200	-	-	-	-	-
<b>Ensaye de la Mancha:</b>												
Heptano/Xilol, % Xilol	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30

(1) El requerimiento de estos ensayos sobre muestras representativas puede omitirse si el material se está aplicando con buenos resultados en la obra.



## 8.301.5 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define los requisitos para seis grados de emulsiones asfálticas catiónicas para uso en construcción de pavimentos.

**2.- Referencias.** Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM D 140 Prácticas para muestreo de materiales bituminosos.
- Norma ASTM D 244 Método de ensaye para emulsiones asfálticas.

**3.- Requerimientos.**

**3.1** Las emulsiones asfálticas deben ensayarse dentro de los 14 días siguientes de su despacho. Pueden presentar segregación, siempre que no haya sido causada por congelamiento, sin embargo, deberán ser homogéneas después de mezclarse completamente. Las emulsiones segregadas por congelamiento, no deben ensayarse.

**3.2** Las emulsiones asfálticas deben cumplir con los requerimientos indicados en la Tabla 8.301.5.A.

**4.- Muestreo.**

**4.1** Las muestras de emulsiones asfálticas deben tomarse de acuerdo a los procedimientos descritos en el Método 8.302.1.

**4.2** Las muestras deben almacenarse en recipientes limpios y sellados herméticamente, a una temperatura no inferior a 4°C, hasta ser ensayadas.

**5.- Método de Ensaye.** Las propiedades de la emulsión asfáltica señaladas en la Tabla 8.301.5.A se determinan de acuerdo con los procedimientos de ensaye especificados en el Método 8.302.5, con la excepción que en el ensaye de tamizado se debe utilizar agua destilada en toda la operación de mojado y lavado, en lugar de solución de oleato de sodio (2%).

**6.- Términos Claves.** Catiónicas; emulsiones; emulsiones asfálticas; quiebre medio; quiebre rápido; quiebre lento.

**TABLA 8.301.5.A**  
**REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS**

Tipo Grado	Quiebre Rápido				Quiebre Medio				Quiebre Lento				
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
<b>Ensayes a la emulsión:</b>													
Viscosidad, Saybolt Furol a 25°C, SFs.										20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50°C, SFs.	20	100	100	400	50	450	50	450					
Ensaye de estabilidad en almacenamiento 24 h, %	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	
Demulsibilidad, 35 ml, 0,8% dioctylsulfosuccinato de sodio, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:</b>													
-Cubrimiento, agregado seco							Bueno	Bueno					
-Cubrimiento, después de esparcido							Regular	Regular					
-Cubrimiento, agregado húmedo							Regular	Regular					
-Cubrimiento, después de esparcido							Regular	Regular					
Ensaye de carga de partícula	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		
Ensaye de tamizado, % (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	
Ensaye de mezcla con Cemento, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0	
<b>Destilación:</b>													
- Aceite destilado por volumen de emulsión, %	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-	-
- Residuo, %	60	-	65	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57
<b>Ensayes al residuo de la destilación:</b>													
- Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	
<b>Ensaye de la Mancha:</b>													
Heptano/Xilol, % Xilol		30		30		30		30		30		30	

(1) El requerimiento de estos ensayos sobre muestras representativas puede omitirse si el material se está aplicando con buenos resultados en la obra.

## 8.301.6 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación cubre dos grados de penetración de cementos asfálticos modificados con polímeros, para uso en la construcción de pavimentos: 60-80 y 80-100.

**2.- Referencias.** Norma ASTM D 140, Prácticas para muestreo de materiales bituminosos.

### 3.- Requerimientos.

**3.1** El cemento asfáltico modificado deberá homogeneizarse totalmente mediante agitación manual al momento de preparar las muestras para ejecutar los diferentes ensayos (1).

**Nota 1:** La condición señalada en 3.1 es fundamental para obtener una muestra representativa del cemento asfáltico modificado por ensayar.

**3.2** El cemento asfáltico modificado no deberá calentarse a una temperatura superior a la indicada por el proveedor, a fin de evitar posibles daños al polímero adicionado.

**3.3** Los diferentes grados de cementos asfálticos modificados considerados en la presente especificación deberán cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 8.301.6.A.

**4.- Métodos de Muestreo y Ensaye.** El muestreo y ensaye de los cementos asfálticos modificados deberá ajustarse a lo dispuesto en los siguientes métodos y normas establecidos por la Dirección de Vialidad.

- Muestreo Método 8.302.1
- Penetración Método 8.302.3
- Punto de ablandamiento Método 8.302.16
- Ductilidad Método 8.302.8
- Recuperación elástica Método 8.302.19
- Punto de quiebre Fraass Método 8.302.17
- Punto de inflamación Método 8.302.9
- Índice de penetración Método 8.302.21

**TABLA 8.301.6.A  
ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON POLIMEROS**

ENSAYE	ESPECIFICACION		METODO
	CA 60-80	CA 80-100	
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	60 – 80	80 - 100	8.302.3
Punto de Ablandamiento, °C	Min. 60	Min. 60	8.302.16
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	Min. 80	Min. 80	8.302.8
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm	Min. 50	Min. 50	8.302.8
Recuperación Elástica, 13 °C, 20cm, 1h, %	Min. 50	Min. 50	8.302.19
Índice de Penetración	Min. +2	Min. +2	8.302.21
Punto de Quiebre Fraass, °C	Máx. -17	Máx. -17	8.302.17
Punto de Inflamación, °C	Min. 235	Min. 235	8.302.9



## 8.301.7 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES MODIFICADAS CON POLIMEROS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define los requisitos que deben cumplir las emulsiones asfálticas poliméricas, para uso en la construcción y conservación de caminos.

**2.- Referencias.** Norma ASTM D 140 Prácticas para muestreo de materiales bituminosos.

**3.- Requerimientos.**

**3.1** Las emulsiones asfálticas modificadas deben homogeneizarse totalmente mediante agitación manual al momento de preparar las muestras para ejecutar los diferentes ensayos.

**Nota 1:** La condición señalada en 3.1 es fundamental para obtener una muestra representativa de la emulsión asfáltica modificada.

**3.2** Las emulsiones asfálticas modificadas no deben calentarse a una temperatura superior a la indicada por el proveedor, a fin de evitar posibles daños al polímero utilizado.

**3.3** Las diferentes emulsiones asfálticas modificadas consideradas en la presente especificación estarán de acuerdo con los requisitos indicados en la Tabla 8.301.7.A.

**4.- Métodos de Muestreo y Ensaye.** El muestreo y ensaye de las emulsiones asfálticas modificadas estará de acuerdo con los siguientes métodos y normas establecidos por la Dirección de Vialidad.

- Muestreo Método 8.302.1
- Viscosidad Saybolt Método 8.302.12
- Sedimentación Método 8.302.5
- Carga de partícula Método 8.302.5
- Destilación por evaporación Método 8.302.5
- Penetración Método 8.302.3
- Punto de ablandamiento Método 8.302.16
- Recuperación elástica Método 8.302.19
- Punto de quiebre Fraass Método 8.302.17
- Índice de penetración Método 8.302.21
- Placa Vialit Método 8.302.20

**TABLA 8.301.7.A**  
**REQUERIMIENTOS PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS**  
**MODIFICADAS CON POLÍMEROS.**

ENSAYE	ESPECIFICACIÓN		MÉTODO
	Quiebre rápido	Quiebre lento	
Viscosidad Saybolt, 25°C, SFs		20 - 100	8.302.12
Viscosidad Saybolt, 50°C, SFs	50 - 250		8.302.12
Sedimentación, 7 días, %	Máx. 5	Máx. 5	8.302.5
Carga de Partícula	Catiónica o aniónica	Catiónica o aniónica	8.302.5
Residuo por Evaporación, %	Min 65	Min 57	(*)
Ensayes al residuo:			
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	50 – 150	50 - 150	8.302.3
Punto de Ablandamiento, °C	Mín 50	Mín 53	8.302.16
Recuperación Elástica a 13 °C, %	Mín 50	Mín 50	8.302.19
Índice de Penetración	Mín +1	Mín +1	8.302.21
Ensaye Placa Vialit, %	Mín 90	--	8.302.20

(\*) Destilación por evaporación. El residuo se obtiene en horno a  $T=110^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$ , hasta masa constante, llegando a una temperatura máxima de 120°C durante los últimos 15 minutos. Para la evaporación se usa una bandeja plana, con emulsión de 1 cm de altura.

## 8.301.8 ASFALTOS: ESPECIFICACIONES SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFALTICOS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación cubre los ligantes asfálticos graduados según su desempeño. Las designaciones de los grados están referidas a las temperaturas extremas: temperaturas máximas de pavimento - promedio móvil de siete días y temperatura mínima de pavimento.

Esta especificación no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan fibras o materiales particulados de tamaño mayor que 250  $\mu\text{m}$ .

### 2.- Referencias

- Método 8.302.9           Asfaltos: Método para determinar el punto de inflamación mediante la Copa Abierta Cleveland.
- Método 8.302.1           Asfaltos: Métodos de muestreo.
- Tópico 8.301.1           Asfaltos: Especificaciones para cementos asfálticos según grado de penetración.
- Método 8.302.11         Asfaltos: Método para determinar la solubilidad en solventes orgánicos.
- Método 8.302.13         Asfaltos: Método para determinar la viscosidad cinemática.
- Método 8.302.15         Asfaltos: Método para determinar la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío.
- Método 8.302.33         Asfaltos: Método de ensaye de película delgada rotatoria.
- Método 8.302.24         Asfaltos: Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield.
- Método 8.302.25         Asfaltos: Método Superpave para medir la rigidez a bajas temperaturas mediante el reómetro de viga de flexión.
- Método 8.302.22         Asfaltos: Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico.
- Método 8.302.26         Asfaltos: Método Superpave para medir la deformación a la rotura mediante el ensaye de tracción directa.
- Método 8.302.23         Asfaltos: Método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara de envejecimiento a presión. (PAV).
- Norma AASHTO:         MP1-98: Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder

### 3.- Materiales.

**3.1** El ligante asfáltico debe prepararse por refinación de petróleo crudo mediante métodos adecuados, con o sin adición de modificadores.

**3.2** Los modificadores pueden ser cualquier material orgánico de fabricación adecuada, usado en condición virgen o reciclada y que se encuentra disuelto, disperso o que ha reaccionado con el cemento asfáltico para mejorar su desempeño.

**3.3** El ligante asfáltico debe ser homogéneo, libre de agua y materiales deletéreos y no debe producir espuma al ser calentado a 175°C.

**3.4** El ligante asfáltico tendrá una solubilidad de al menos 99% soluble, determinado por el Método 8.302.11.

**3.5** Los grados de ligante asfáltico deben cumplir los requerimientos dados en la Tabla 8.301.8.A.

### 4.- Procedimientos de Ensaye.

**4.1** El muestreo del material asfáltico debe ser realizado de acuerdo al Método 8.302.1.

**4.2** Las propiedades indicadas en 3.3, 3.4, y 3.5 serán determinadas en concordancia con los Métodos:

- 8.302.11: Método para determinar la solubilidad en solventes orgánicos
- 8.302.9 : Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de cleveland
- 8.302.33: Método de ensaye de película delgada rotatoria
- 8.302.23: Método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara a presión
- 8.302.25: Método Superpave para medir la rigidez a bajas temperaturas mediante reómetro de viga de flexión
- 8.302.26: Método Superpave para medir la deformación a la rotura en el ensaye de tracción directa
- 8.302.22: Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico

## **5.- Inspección y Certificación.**

**5.1** La Inspección y certificación del material se realizará en los términos indicados en las especificaciones técnicas de la obra donde se indicará cualquier requerimiento específico. El proveedor debe proporcionar los procedimientos de manejo y almacenamiento para cada grado certificado de ligante asfáltico.

**5.2** Si los resultados de cualquier ensayo no satisfacen los requerimientos de esta especificación, se debe repetir el ensayo para determinar la conformidad con el desempeño, de acuerdo a lo indicado en las especificaciones técnicas de la obra.

**TABLA 8.301.8.A**  
**REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE**

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 46			PG 52						PG 58					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40
Temperatura máxima de diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. de pavimento, °C <sup>(a)</sup>	< 46			< 52						< 58					
Temperatura mínima del pavimento de diseño, °C	>- 34	>- 40	>- 46	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 46	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40
<b>LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL</b>															
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230														
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C <sup>(b)</sup>	135														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ <sup>(f)</sup> mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C <sup>(c)</sup>	46			52						58					
<b>HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)</b>															
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ <sup>(f)</sup> , mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	46			52						58					
<b>CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)</b>															
Temp. de envejecimiento, °C <sup>(d)</sup>	90			90						100					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ <sup>(f)</sup> , máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 temp. ensaye, °C <sup>(e)</sup>	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: deformación de rotura, mín. 1,0% temperatura ensaye, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30
<p>(a) Temperaturas del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo incluido en SUPERPAVE, o serán provistas por la agencia específica.</p> <p>(b) El método referido será el 8.302.24 (usando un vástago No. 21 a 20 rpm), sin embargo se pueden usar métodos alternativos para ensayos de rutina y control de calidad. Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la Inspección Fiscal, siempre y cuando se garantice que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.</p> <p>(c) Para el control de calidad de producción de cemento asfáltico no modificado, la medida de la viscosidad puede realizarse por medición de G*/senδ en el reómetro de corte dinámico, a temperaturas de ensaye donde el asfalto se comporta como fluido Newtoniano. Cualquier estándar adecuado de medida de viscosidad puede ser usado, incluyendo ensayos de viscosidad capilar o viscosímetros rotacionales.</p> <p>(d) La temperatura por usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110°C. La temperatura para los grados asfálticos más altos, a partir de PG 64, es de 100°C, excepto en climas desérticos, donde es 110°C.</p> <p>(e) Si la rigidez en creep (S) es menor a 300 MPa, el ensaye de tracción directa no se requiere. Si está entre 300 y 600 MPa, se pueden usar los requerimientos de deformación de rotura en el ensaye de tracción directa en vez de los requerimientos de rigidez en creep. El valor-m, en ambos casos, debe ser mayor que 0,300.</p> <p>(f) G*/senδ = rigidez a altas temperaturas, G* senδ = rigidez a bajas temperaturas.</p>															

**TABLA 8.301.8.A (CONTINUACION)  
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE**

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 64						PG 70					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima para el diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. depavimento, °C <sup>(a)</sup>	< 64						< 70					
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40
<b>LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL</b>												
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230											
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C <sup>(b)</sup>	135											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C <sup>(c)</sup>	64						70					
<b>HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)</b>												
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	64						70					
<b>CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)</b>												
Temp. de envejecimiento, °C <sup>(d)</sup>	100						100 (110)					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C <sup>(e)</sup>	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 temp. ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: Deformación de rotura, mín. 1,0 % Temperatura ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

**TABLA 8.301.8.A (CONTINUACION)  
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE**

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura máxima para el diseño, media móvil(7 días) de temp.máx. de pavimento, °C <sup>(a)</sup>	< 76					< 82				
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34
<b>LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL</b>										
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230									
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C <sup>(b)</sup>	135									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C <sup>(c)</sup>	76					82				
<b>HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)</b>										
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	76					82				
<b>CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION PAV (8.302.23)</b>										
Temp. de envejecimiento, °C <sup>(d)</sup>	100 (110)					100 (110)				
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 Temp. ensaye, °C <sup>(e)</sup>	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: Deformación de rotura, mín. 1,0 % Temperatura ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24



## 8.301.9 ASFALTO: ESPECIFICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PREDOSIFICADAS PARA BACHEO

**1.- Alcances y campo de aplicación:** Esta especificación define los requisitos que deben cumplir las mezclas predosificadas para uso en Bacheo en obras de conservación de caminos.

### 2.- Referencias:

- Método 8.302.59      Asfalto: Método de Ensaye de Adherencia entre agregados pétreos y ligante asfáltico, empleando el Método del Hervido.
- Método 8.302.60      Asfalto: Método de Ensaye de Cohesión de mezcla en frío para Bacheo
- Método 8.302.40      Asfalto: Método para determinar resistencia a la Deformación plástica de mezclas utilizando el aparato Marshall.
- Método 8.302.38      Asfalto: Método para determinar la Densidad real de mezclas asfálticas compactadas.
- Método 8.302.61      Asfalto: Método de Ensaye de Estabilidad Retenida Marshall de mezclas en frío para Bacheo
- Método 8.302.62      Asfalto: Método de Ensaye de Trabajabilidad de mezclas en frío para Bacheo

### 3.- Requerimientos:

**3.1** La mezcla deberá tener una duración al almacenamiento de mínimo 6 (seis) meses durante los cuales deben cumplir con lo exigido en la Tabla 8.301.9.A.

**4.- Método de Muestreo y Ensaye:** Los requerimientos de los áridos, y el muestreo y ensaye de las mezclas predosificadas estarán de acuerdo con los siguientes métodos y normas establecidas por la Dirección de Vialidad:

- |  |                 |
|--|-----------------|
| - Muestreo   | Método 8.302.1  |
| - Ensaye de Adherencia entre agregados pétreos y ligante asfáltico, empleando el Método del Hervido. | Método 8.302.59 |
| - Ensaye de Cohesión de mezcla en frío para Bacheo   | Método 8.302.60 |
| - Ensaye de Estabilidad Retenida Marshall de mezclas en frío para Bacheo.                            | Método 8.302.61 |
| - Densidad real de mezclas asfálticas compactadas.   | Método 8.302.38 |
| - Ensaye de Trabajabilidad de mezclas en frío para Bacheo  | Método 8.302.62 |
| - % Chancado   | Método 8.202.6  |
| - Granulometría  | Método 8.202.3  |
| - Desgaste de Los Ángeles  | Método 8.202.11 |

**TABLA 8.301.9.A**  
**ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PREDOSIFICADAS PARA BACHEO**

<b>ENSAYE</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>MÉTODO</b>
Adherencia (método del hervido)	Mín. 95%	8.302.59
Cohesión	Mín. 90%	8.302.60
Estabilidad Retenida Estabilidad Marshall	Mín. 80% Informar	8.302.61
Densidad Marshall (Geométrica)	Informar	8.302.38 Método C
Trabajabilidad a 4 ±1 °C	≤ 4,5 kg/cm <sup>2</sup>	8.302.62
% Chancado	Mín. 80%	8.202.6
% que pasa tamiz 3/8"	Mín. 90%	8.202.3
Tamaño Máx. Nominal	Informar	8.202.3
Desgaste de Los Ángeles	Máx. 25%	8.202.11

## SECCION 8.302 METODOS PARA ASFALTOS

### 8.302.1 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO

**1.- Alcances y campo de Aplicación.** Este Método establece los procedimientos para realizar muestreos de asfaltos líquidos, semisólidos o sólidos, utilizados en obras de pavimentación; se aplica en el lugar de producción, en el terminal de abastecimiento o en el lugar de acopio o entrega del producto.

El muestreo es tan importante como el ensaye, por lo que se deben adoptar las precauciones necesarias para obtener muestras que representen la verdadera naturaleza y condición de los materiales. Las muestras se deben tomar por los métodos que se describen más adelante, de modo que permitan cumplir los siguientes propósitos:

- Representar fielmente el promedio del material muestreado.
- Determinar la variación máxima de las características del material.

Las muestras se pueden tomar desde estanques, acopios, vehículos o contenedores, utilizados para el almacenamiento o despacho de materiales bituminosos.

Debido a los numerosos tipos y grados de materiales bituminosos que se despachan y almacenan alternativamente en los mismos envases o similares, siempre existe la posibilidad que esos envases se encuentren contaminados con residuos, precipitados y/o solventes limpiadores. En muchas ocasiones las muestras no representan estrictamente el material o se contaminan después de obtenidas; es de responsabilidad tanto del productor, como del transportista, del usuario como del muestreador, tomar las debidas precauciones en el muestreo y manipulación de estos materiales.

### 2.- Generalidades.

**2.1 Muestreo.** El muestreo y despacho de asfalto al laboratorio debe realizarse, en lo posible, en el momento de la descarga, inmediatamente después de recepcionado en la planta, en el lugar de almacenamiento o en el sitio de faena.

**2.2 Despachos por Muestrear.** De cada entrega de material asfáltico a faena se debe tomar el número de muestras requeridas. En el caso de entregas de reducido tamaño las muestras deben ser representativas de una cantidad máxima de 40 m<sup>3</sup> de material.

**2.3 Extracción de la Muestra.** Se debe efectuar el muestreo por uno de los tres procedimientos siguientes:

- a) De acuerdo con 4.1 c).
- b) Por sangría a través de una llave o válvula de muestreo inserta en la línea de transferencia, durante la descarga del tercio central de la carga.
- c) Por medio de un dispositivo de muestreo inserto en un nivel aproximado al tercio central de la carga o del tanque.
- d) Las pruebas para aceptación del material se deben practicar sobre las muestras tomadas. Cuando éstas no cumplan con las especificaciones, se debe analizar la muestra testigo para confirmar los resultados.

### 3.- Muestreo de Materiales Asfálticos.

**3.1 Número de Muestras.** El número mínimo de muestras para análisis y la masa o volumen de cada una de ellas deben ser los que se indican en la Tabla 8.302.1.A para cada tipo de asfalto. El lugar de extracción de la muestra debe ser el señalado en la misma tabla.

**TABLA 8.302.1.A**  
**INDICACIONES PARA MUESTREO SEGUN TIPO DE ASFALTO**

Tipo de asfalto	Procedencia	Número de muestras	Cantidad de cada muestra	Nivel de extracción
Cemento asfáltico	Camión Transportador	3	1 kg	Inicio, mitad y Término del vaciado
	Estanque de Almacenamiento	3	1 kg	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1.C)	2 kg	Núcleo
Asfalto cortado	Camión Transportador	3	1 L	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de Almacenamiento	3	1 L	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1.C)	2 L	Núcleo
Emulsión	Camión Transportador	3	1 L	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de Almacenamiento	3	1 L	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1.C)	2 L	Núcleo
Sellante de juntura	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1.C)	2 kg	Núcleo

**Nota :** Las indicaciones de la Tabla son también aplicables a los materiales asfálticos modificados.

**3.2 Envases para Muestras.** El envase que se utilice para tomar la muestra debe ser, según tipo de asfalto, del tipo que se indica en la Tabla 8.302.1 .

**TABLA 8.302.1.B**  
**TIPOS DE ENVASE PARA MUESTREO**

Tipo de asfalto	Tipo de envase
Cemento asfáltico	Lata de boca ancha con tapa a presión
Asfalto cortado	Lata de boca angosta con tapa rosca
Emulsión	Recipiente plástico de boca ancha con tapa rosca
Sellante de juntas	Lata de boca ancha con tapa a presión

### 3.3 Protección y Preservación de las Muestras.

- a) Los envases para muestras deben ser nuevos. No los lave, no enjuague ni seque con telas engrasadas. No use envases que presenten evidencias de fundente de soldadura o que no estén limpios y secos. La tapa debe cerrar herméticamente.
- b) Inmediatamente después de llenar los recipientes, cierre herméticamente. No debe sumergir en solvente el envase lleno con la muestra, ni secarlo con un paño saturado en él; si es necesario limpiarlo, use un paño limpio y seco.
- c) Rotule los envases mediante marcas indelebles colocadas sobre el recipiente mismo y no sobre la tapa, o mediante etiquetas firmemente adheridas al envase. Tanto las marcas como las etiquetas deben llevar la siguiente información:
  - Nombre de la obra.
  - Nombre de la empresa contratista
  - Proveedor y/o procedencia del asfalto.
  - Número y fecha de la Guía de Despacho.
  - Tipo de asfalto.
  - Sistema de acopio.
  - Número y nivel de extracción de la muestra.
  - Fecha y hora del muestreo.
  - Nombre y firma del responsable del muestreo.
- d) Las muestras de emulsión deben protegerse del congelamiento mediante un embalaje adecuado.
- e) No trasvase las muestras de un envase a otro, excepto cuando el procedimiento de muestreo así lo establezca, ya que sus características pueden alterarse o sufrir contaminación.

## 4.- Muestreo en el Lugar de Producción de Materiales Líquidos o Licuados por Calentamiento.

### 4.1 De Estanques de Almacenamiento a granel, no Equipados con Agitadores Mecánicos(1).

**Nota 1:** Durante el muestreo, todas las entradas y salidas del estanque se deben mantener cerradas.

- a) Mediante válvulas o perforaciones en la parte superior, intermedia e inferior del estanque, extraiga de 1 a 2 kg de muestra en cada punto, después de drenar un mínimo de 4 l de material desde cada uno de ellos.
- b) Mediante un tubo muestreador (no apropiado para cementos asfálticos) que se haga descender dentro del material tome las muestras en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque. En la Lámina 8.302.1.A se muestra un tipo de tubo apropiado, con instrucciones para su uso.

**Nota 2.** El tubo muestreador descrito en la Lámina 8.302.1.A se puede usar para muestreo repetitivo porque, al estar abierto en ambos extremos, la contaminación de las muestras se elimina por la autolimpieza que da la acción de pasar el material a través de él. Se recomienda la práctica de levantar y bajar el muestreador 3 ó 4 veces a través de una distancia de varios centímetros en la profundidad a muestrear.

- c) Mediante envases desechables, tome las muestras en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque, bajando un dispositivo de retención y peso adecuado dentro del material. En la Lámina 8.302.1.B se muestra un modelo apropiado de dispositivo y las instrucciones para su uso. La característica esencial de este procedimiento es el uso de un recipiente limpio cada vez que se toma una muestra, la que se vacía en otro envase limpio desechando el envase utilizado para extraer la muestra.
- d) Ensaye separadamente las tres muestras extraídas del estanque, para detectar posibles estratificaciones en el material, o se pueden combinar mezclándolas rigurosamente para tomar una muestra de 1 a 2 kg. Esto último, cuando se requiera determinar las características promedio del material.

**4.2 De Estanques de Almacenamiento a Granel Equipados con Agitadores Mecánicos.** Cuando el estanque esté equipado con agitadores de mando mecánico o si por la escotilla de observación se observa un contenido homogéneo, puede ser suficiente tomar sólo una muestra. La extracción debe efectuarse de acuerdo a uno de los procedimientos descritos en 4.1 a), b) y c).

## **5.- Muestreo desde Vagones Tanques, Camiones Tanques, Camiones Distribuidores, Estanques de Almacenamientos Recirculatorios y Contenedores.**

**5.1** Todos los vehículos que suministren material asfáltico deben estar equipados con una válvula de muestreo de diseño similar a las que se muestran en la Lámina 8.302.1.C, que debe instalarse a lo menos a 30 cm del casco y estar claramente indicada como "válvula de muestreo". Antes de extraer la muestra desde la válvula de muestreo, deje fluir desechando un mínimo de 4 l.

**5.2** Siempre que el usuario lo permita, se pueden utilizar los siguientes métodos para obtener muestras representativas:

- a) Extraiga las muestras de materiales líquidos o licuados por calentamiento, mediante una lata limpia, de boca ancha o angosta, sujeta con una abrazadera apropiada (Lámina 8.302.1.D). Use un recipiente limpio para cada muestra y traspase el material muestreado a dos recipientes nuevos y limpios, dejando uno para ensaye y el otro como testigo (3).

**Nota 3.** Se entenderá como testigo, para estos efectos, la muestra gemela que queda en el laboratorio para verificación posterior.

- b) Insertar en la línea de descarga un dispositivo desmontable, de diseño similar al que se muestra en la Lámina 8.302.1.E. Antes de tomar la muestra deje escurrir desechando un mínimo de 4 l.

## **6.- Muestreo de Barcos Tanques o Barcazas.**

**6.1** De materiales líquidos. Tome muestras de la parte superior, intermedia e inferior del estanque, utilizando uno de los métodos descritos en 4.1.

**6.2** De materiales licuados por calentamiento. Tome sólo una muestra desde la parte superior del estanque mediante el método de inmersión, utilizando un envase desechable según procedimiento descrito en 4.1 c).

## **7.- Muestreo de Líneas de Cañerías Durante la Carga o Descarga.**

**7.1** Durante la carga o descarga de buques tanques o barcazas, tome muestras desde la tubería por donde fluye el material. Para ello inserte un dispositivo de muestreo (Lámina 8.302.1.E) en la descarga de la bomba o en una línea completamente llena, por la que el material escurra por gravedad. Ubique el dispositivo de muestreo frente al escurrimiento del líquido; debe estar provisto de una válvula o llave macho y descargar en un recipiente receptor de muestras. Tome a lo menos tres muestras de 2 kg cada una, a intervalos regulares durante toda la carga o descarga.

Al finalizar la carga o descarga, junte y mezcle rigurosamente las muestras individuales sin alterar las características; luego extraiga una muestra de 2 kg de la mezcla.

**7.2** Cuando muestree barcos tanques o barcazas de capacidad inferior a 4.000 m<sup>3</sup>, tome por lo menos 5 muestras de 2 kg a intervalos regulares durante toda la carga o descarga; para capacidades superiores a 4.000 m<sup>3</sup> tome a lo menos diez muestras de 2 kg cada una. Al término de la carga o descarga, junte y mezcle rigurosamente las muestras individuales, sin alterar sus características; luego extraiga una muestra de 2 kg de la mezcla.

**8.- Muestreo de Materiales Líquidos en Tambores o Barriles.** Para muestrear materiales bituminosos líquidos almacenados en tambores o barriles, determine el tamaño de la muestra de acuerdo a la Tabla 8.302.1.C; luego seleccione los tambores o barriles mediante procedimientos de extracción al azar. Mezcle rigurosamente el contenido de cada tambor o barril seleccionado y luego extraiga una muestra individual de 2 kg, usando un tubo muestreador.

## 9.- Muestreo de Materiales Semisólidos o Sólidos sin Chancar.

### 9.1 Envases Tipo Tambores, Barriles, Cajas de Cartón o Bolsas.

- a) Cuando el lote de material por muestrear proviene de una sola partida de producción, seleccione una unidad al azar y extraiga una muestra como se describe más adelante.
- b) Cuando el lote de material por muestrear proviene de más de una partida de producción o cuando la muestra única seleccionada en 9.1 a) no cumple con las especificaciones, extraiga, según se especifica en la Tabla 8.302.1.C, el número de unidades que corresponda al tamaño del lote, que debe corresponder a la raíz cúbica del número total de unidades del lote.

Tome las muestras por lo menos a 80 mm bajo la superficie y a 80 mm del costado del envase; puede usar un hacha pequeña si el material está duro o una espátula ancha si está blando. Cada muestra individual debe pesar, como mínimo, 1 kg.

Cuando el material proviene de una misma partida de producción, funda y mezcle bien las muestras individuales, extrayendo una muestra de 1 kg del material combinado. En caso de más de una partida de producción, claramente identificables, las muestras individuales extraídas de cada partida se funden y mezclan, tomándose de dicha mezcla una muestra de 1 kg. Cuando no sea posible diferenciar entre las diversas partidas, examine separadamente cada muestra individual.

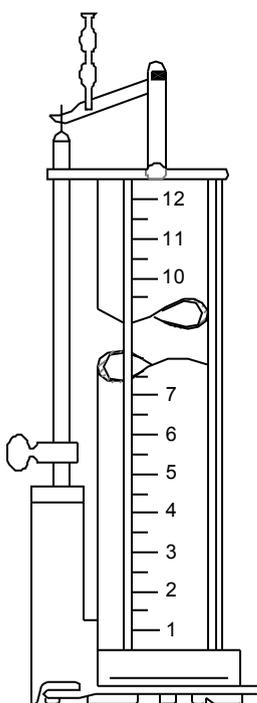
**TABLA 8.302.1.C**  
**UNIDADES POR EXTRAER SEGUN TAMAÑO DEL LOTE**

<b>TAMAÑO DEL LOTE ( N° de unidades )</b>	<b>N° DE UNIDADES POR EXTRAER</b>
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1.001 a 1.331	11

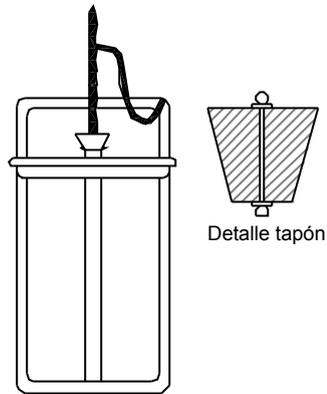
## 10.- Muestreo de Materiales Chancados o Pulverizados.

**10.1 Almacenamiento a Granel.** Los materiales bituminosos sólidos, chancados o pulverizados, se deben muestrear de acuerdo a ASTM D 346. La muestra total no debe ser menor que 25 kg y de ella se debe extraer 1 kg para ensaye.

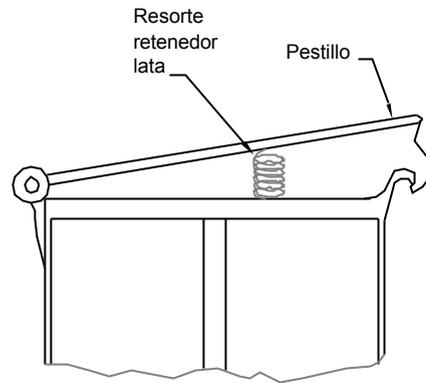
**10.2 Tambores, Barriles, Bolsas y Cajas de Cartón .** Cuando el material, chancado o pulverizado, está en barriles, tambores o sacos, se selecciona al azar el número de unidades que corresponda según Tabla 8.302.1.C. Extraiga de cada unidad una muestra mínima de 1kg, lo más cerca posible del centro del envase, para obtener una muestra total no inferior a 25 kg. De ésta seleccione una muestra de aproximadamente 1 kg para ensaye, de acuerdo con ASTM D 345.



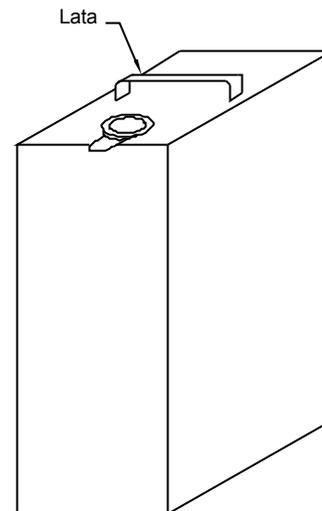
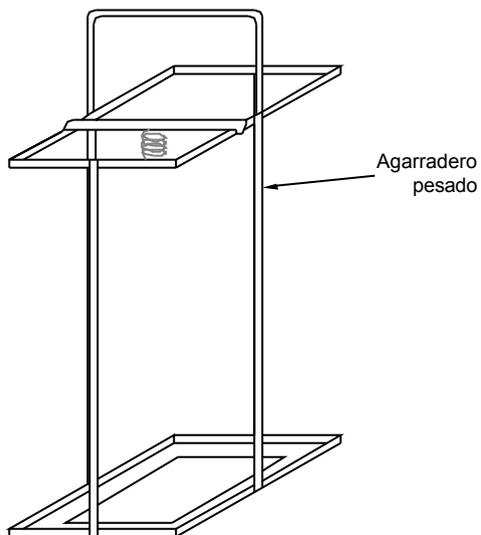
Nota: Este tipo de muestreador se sumerge dentro del estanque con la válvula inferior abierta (no ha y ningún cierre superior). Cuando se alcanza la profundidad deseada se da un tirón instantáneo a la cadena de descenso que cierra la válvula inferior. Luego el muestreador se retira del estanque y el contenido se traspa al envase de muestra. Este muestreador se puede usar para muestreos repetitivos en el mismo estanque.



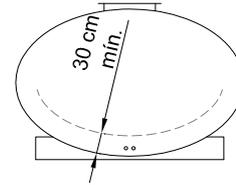
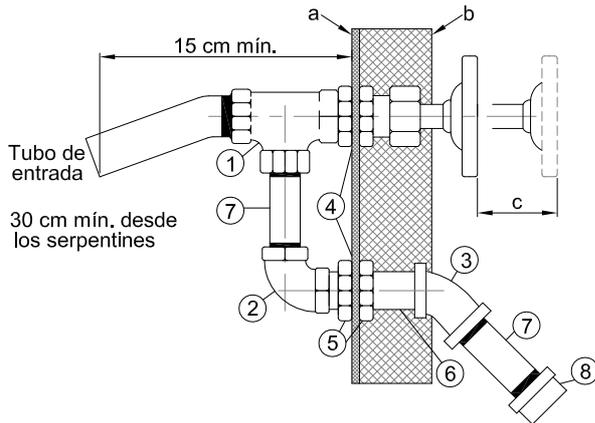
Lata en agarradero pesado



Detalle retenedor lata



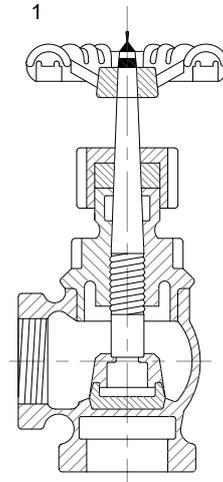
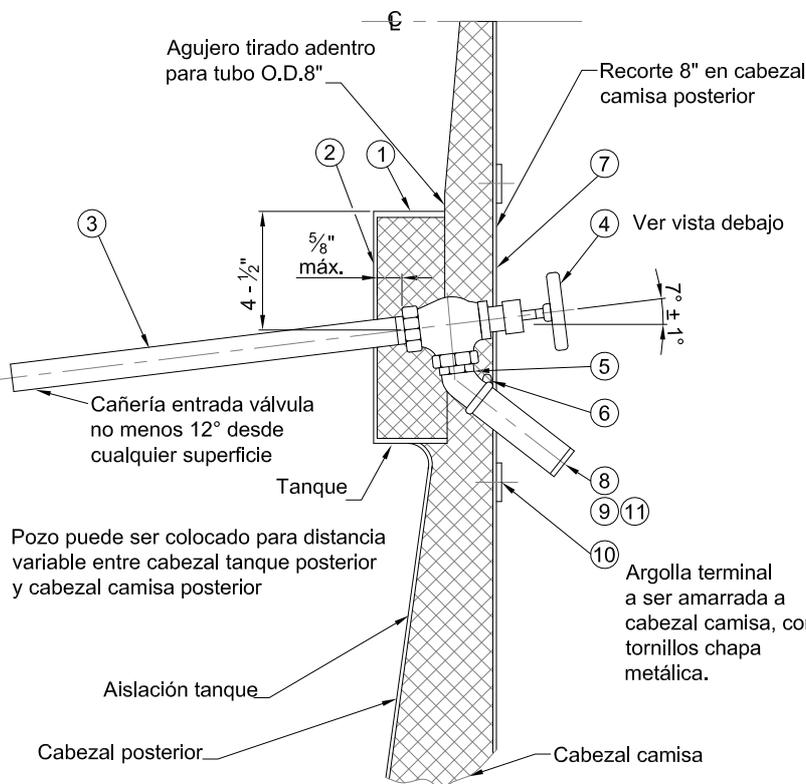
Nota: Este tipo de muestreador se sumerge dentro del estanque con el tapón puesto. Cuando se alcanza la profundidad deseada se retira el tapón por medio del alambre, cuerda o cadena, para permitir que se llene. El llenado estará completo cuando cese el burbujeo en la superficie del líquido; luego retire la muestra. Se debe utilizar un envase limpio para cada muestra que se tome.



Instalar en la mitad inferior de la compuerta trasera y a unos 30 cm mín. del borde del tanque.

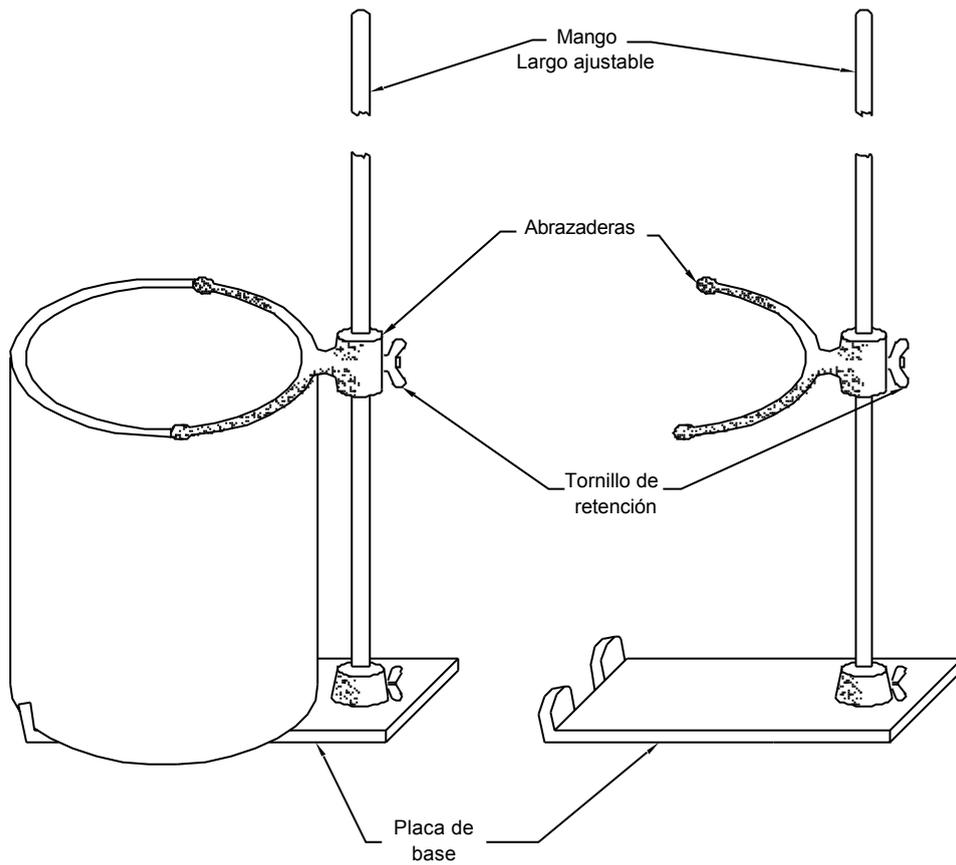
Mecanismo instalado en el tanque para toma de muestras asfálticas.

Ref.	Descripción	Cantidad requerida
a	Pared del tanque.	
b	Aislante.	
c	Recorrido del eje de la llave, para salvar el aislante.	
1	Llave de 3/4" de acero en ángulo "VOGT" P-9844, para instalar en panel	1
2	Codo de 90° de acero o HG de 3/4"	1
3	Codo de 45° de acero o HG de 3/4"	1
4	Empaquetadura de fibra de vidrio colocada en la rosca o enrollada con estopa.	4
5	Tuerca de seguridad de 3/4" N° 150, de HG	2
6	Niple de 3/4" x más o menos 3 1/2", de acero, con rosca corrida (si no se consigue, cortar de un niple estándar de 3/4" para tanque)	1
7	Niple de acero con rosca, de 3/4" x 3"	2
8	Tapón de 3/4" de HG	1

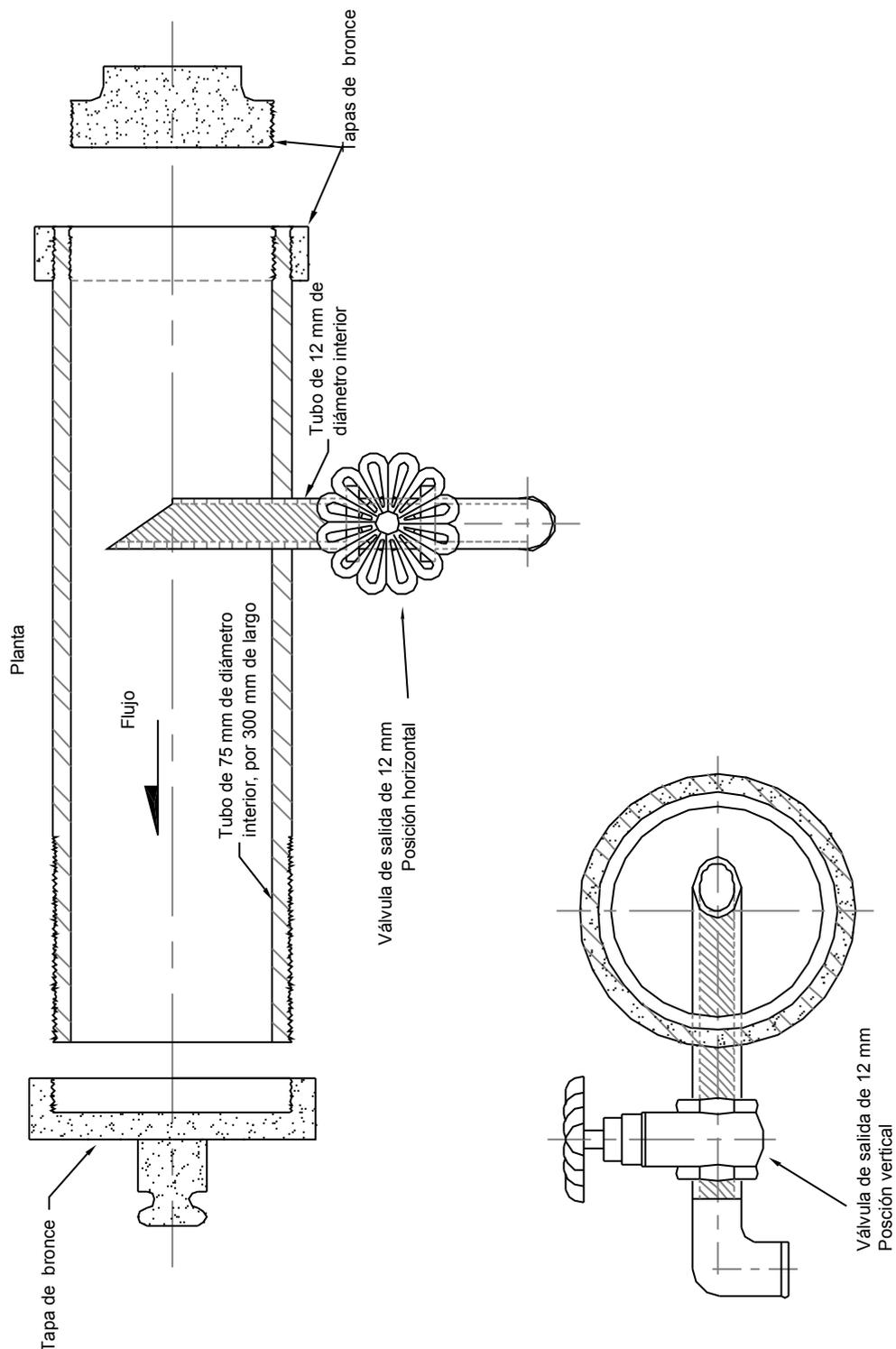


VISTA TÍPICA DE SECCION DE VALVULA (ANGULO BRONCE 3/4")

1	1	2780020	Encaje collar, válvula muestreadora
2	1	2780019	Extremo placa, encaje, válvula muestreadora
3	1	6200284	Entrada cañería, 3/4" x 13" L.G.
4	1	6600349	Válvula de codo de asiento de Composición 3/4"
5	1	0140798	Codo Cachimba 135° x 3/4" L.G.
6	1	2750166	Aleta argolla, de ajuste
7	1	2780021	Aleta argolla, encaje, válvula muestreadora
8	1	0190724	Niple - cañería, 3/4" x 4" L.G.
9	1	2780038	Tapa ASM - Válvula muestreadora (Tapa gorro 3/4")
10	12	0144736	Tornillo Parker Kalen, N° 14 (Roscalata)



Nota: El muestreador, con la abrazadera fija en su lugar, se baja rápidamente al estanque hasta la profundidad deseada y se llena con la muestra. Luego se saca y el contenido se transfiere al envase de muestra. Para cada muestra debe utilizarse un envase limpio.



Nota: La válvula de salida puede instalarse en posición horizontal o vertical, siendo preferible la posición vertical. Este artefacto debe ser suministrado por el operador de la planta de asfalto y permanecer en custodia del Inspector hasta que termine el trabajo. El artefacto debe insertarse a la línea de descarga, entre la cañería y la manguera. Si el operador del transporte así lo determina, la válvula de salida de 12mm puede estar permanentemente colocada en la tubería de salida, tan cerca del extremo como sea posible.

Procedimiento de muestreo: deje salir suficiente material a través del grifo antes de tomar la muestra, para asegurarse que se ha removido cualquier contaminante. Tome la muestra lentamente, para asegurarse que sea representativa del material que se está descargando. Esta se debe extraer después que un tercio y no más de los 2/3 de la carga han sido descargados.

## 8.302.2 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

**2.- Resumen del Procedimiento.** Calibre un picnómetro pesándolo limpio y seco. Utilice agua destilada. Una vez calibrado llénelo con material asfáltico, evitando la inclusión de burbujas de aire; tápelos y retire el exceso de material; proceda a pesar, para luego calcular la densidad.

### 3.- Equipos y Materiales.

- a) Picnómetro, de 24 a 30 ml de capacidad (ver Lámina 8.302.2.A) .
- b) Balanza analítica
- c) Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .
- d) Termómetro de  $-8$  a  $32^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
- e) Agua destilada.

### 4.- Calibración del Picnómetro.

**4.1** Determine la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y désignela como A, aproximando a 0,01 g.

**4.2** Llene el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumerja totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Coloque el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que la del vaso. Manténgalos en el baño como mínimo 30 min a la temperatura de ensaye. Retire el picnómetro y seque rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determine la masa y désignela como B, aproximando a 0,01 g.

**Nota 1:** Se deben tomar las precauciones necesarias para que los equipos y agua estén a la temperatura de ensaye, y para evitar derrames del picnómetro.

**Nota 2:** La temperatura de ensaye debe ser igual a la temperatura de calibración del picnómetro.

### 5.- Procedimiento para Asfaltos Líquidos de Baja Viscosidad.

**5.1** Caliente el material asfáltico a la temperatura requerida y viértalo dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire. Inserte la tapa firmemente en el picnómetro y limpie con un paño el exceso de material que se hubiere derramado por el orificio. Determine la masa del picnómetro y su contenido y désignela como C, aproximando a 0,01 g.

**5.2** Calcule la densidad del asfalto como:

$$\rho_b = \frac{C - A}{B - A} \times \rho_w \times 1.000$$

donde:

- $\rho_w$ : Densidad del agua a la temperatura de ensaye ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).
- $\rho_b$ : Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

**5.3** Si la viscosidad impide seguir el procedimiento descrito, aplique lo que se señala en 6.

## 6.- Procedimientos para Cementos Asfálticos.

**6.1** Caliente una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; debe prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra esté suficientemente fluida viértala dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Se deben tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evite la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto. Enfríe el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determine la masa con la tapa incluida. Designe esta masa como C, aproximando a 0,01 g.

**6.2** Termine de llenar con agua destilada, inserte la tapa firmemente, sumérjalo completamente en un vaso lleno de agua destilada y colóquelo en el baño, de acuerdo a lo indicado en 4.2, a la temperatura de ensaye por unos 30 min. Retire el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determine la masa y désignela como D, aproximando a 0,01 g.

**6.3** Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la fórmula:

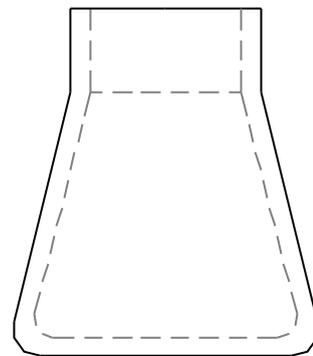
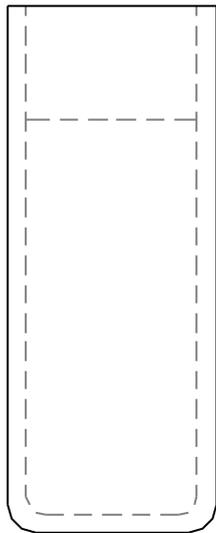
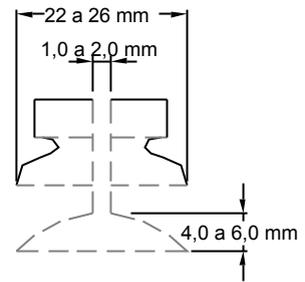
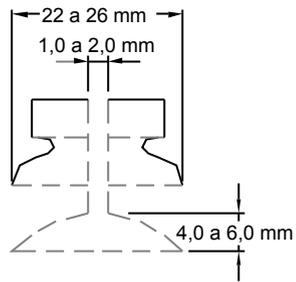
$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \times \rho_w \times 1.000$$

donde:

$\rho_w$  : Densidad del agua a la temperatura de ensaye (g/cm<sup>3</sup>).  
 $\rho_b$  : Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye (kg/m<sup>3</sup>).

**7.- Informe.** El informe debe incluir:

- a) La densidad, aproximada a 1 (kg/m<sup>3</sup>).
- b) La temperatura de ensaye.





### 8.302.3 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PENETRACION

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensaye de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

**2.- Referencias.** Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.
- Norma ASTM D 36 Test Method for Softening Point of Ligante asfáltico ( Ring-and-Ball Apparatus ).
- Norma ASTM E1 Specification for ASTM Thermometers.
- Norma ASTM E 77 Test Method for Inspection and Verification of Liquid-in-Glass Thermometers.

**3.- Descripción del Método.** La muestra se funde y enfría bajo condiciones controladas; la penetración se mide con un penetrómetro por medio de una aguja estándar, la que penetra verticalmente dentro de la muestra, bajo condiciones fijas de temperatura, carga y tiempo. La unidad de medida es la décima de milímetro.

**4.- Equipos y Accesorios.**

**4.1 Penetrómetro.** Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una aproximación de 0,1 mm. El peso del vástago será de  $47,5 \pm 0,05$  g. El peso total de la aguja y el vástago será de  $50,0 \pm 0,05$  g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensaye, se estipulan pesas de  $50,0 \pm 0,05$  g y  $100,0 \pm 0,05$  g.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a  $90^\circ$  de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

**4.2 Aguja de Penetración.** La aguja (ver Figura 8.302.3.A) es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre  $8,7^\circ$  y  $9,7^\circ$  con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de  $2^\circ$ .

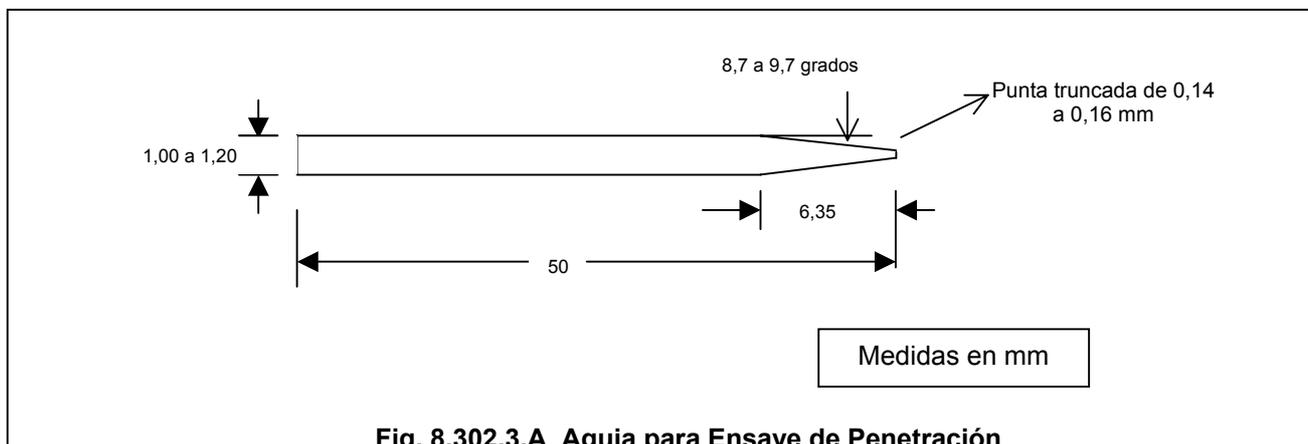
El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la American National Standard B 46.1 o ISO 468, la aspereza superficial ( $R_a$ ) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3  $\mu\text{m}$  como promedio aritmético.

La aspereza superficial ( $R_a$ ) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de  $3,2 \pm 0,05$  mm y una longitud de  $38 \pm 1$  mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete - aguja será de  $2,50 \pm 0,05$  g ( se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja; las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un período de tres años.



**4.3 Cápsulas.** Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

- Para penetraciones bajo 200.  
Diámetro (mm) 55  
Profundidad (mm) 35
- Para penetraciones entre 200 y 350:  
Diámetro (mm) 55  
Profundidad (mm) 70

**4.4 Baño de Agua.** Tendrá una capacidad mínima de 10 l y un sistema apto para mantener la temperatura a 25° C, o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ; tendrá , además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensaye de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina (Nota 1).

**Nota 1:** Se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

**4.5 Transportador de Cápsula.** Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

**4.6 Aparato Medidor de Tiempo.** Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 s o menos y cuya precisión esté dentro de  $\pm 0,1$  s para un intervalo de 60 s.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de  $5 \pm 0,1$  s.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensaye deseado dentro de  $\pm 0,1$  s.

**4.7 Termómetros.** Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la Tabla 8.302.3.A:

**TABLA 8.302.3.A  
TIPOS DE TERMOMETROS**

ASTM N°	RANGO	TEMPERATURA DE ENSAYE
17 C	19 a $27^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C}$
63 C	- 8 a $+ 32^{\circ}\text{C}$	0 a $4^{\circ}\text{C}$
64 C	25 a $55^{\circ}\text{C}$	$46^{\circ}\text{C}$

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el método de ensaye ASTM E 77.

#### 5.- Preparación de la Muestra.

**5.1** Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de  $60^{\circ}\text{C}$  sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el método de ensaye ASTM D 36, o no más allá de  $90^{\circ}\text{C}$  sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min y evite la incorporación de burbujas en la muestra.

**5.2** Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensaye, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensaye.

**5.3** Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre  $15$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , entre 1 y 1,5 h para una cápsula pequeña ( 90 ml ) y 1,5 y 2 h, para la más grande (175 ml ). Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensaye. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

**6.- Condiciones de Ensaye.** Cuando no se especifiquen las condiciones de ensaye, considere la temperatura, carga y tiempo, en  $25^{\circ}\text{C}$ , 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla 8.302.3.B.

**TABLA 8.302.3.B  
CONDICIONES PARA ENSAYES ESPECIALES**

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensaye.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

**7.1** Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con un solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de  $100 \pm 0,1$  g.

**7.2** Si el ensaye se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste (Nota 2), y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensaye se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.

**Nota 2:** Para ensayos arbitrarios, las penetraciones a temperaturas diferentes de 25°C deben realizarse sin remover la muestra del baño.

**7.3** Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa (Nota 3).

**Nota 3:** La posición de la aguja se puede visualizar mejor con la ayuda de un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.

**7.4** Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación.

Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

**8.- Informe.** Informe el promedio de tres determinaciones, aproximando a la unidad. Los valores no deben diferir más allá de las magnitudes que se indican en la Tabla 8.302.3.C para cada grado de penetración.

**TABLA 8.302.3.C**  
**TOLERANCIA MAXIMA ENTRE MEDICIONES**

<b>PENETRACION</b>	<b>0 a 49</b>	<b>50 a 149</b>	<b>150 a 249</b>	<b>250 a 500</b>
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20

**9.- Precisión.** Use el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C. (El criterio de precisión para otras temperaturas está siendo determinado).

**9.1 Precisión para un solo operador.** El coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1,4% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar para un solo operador, es de 0,35 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4% de su media o 1 unidad en otros casos.

**9.2 Precisión entre Laboratorios.** El coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar entre laboratorios es de 1,4 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de

cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos.

**Nota 4:** Los valores antes indicados representan los límites de ambas desviaciones estándar.

En la Tabla 8.302.3.D se entregan los criterios de precisión para los distintos casos.

**TABLA 8.302.3.D  
CRITERIOS DE PRECISION**

<b>Material</b>	<b>Desviación estándar o Coeficiente de Variación, (unidades o %)</b>	<b>Rango de aceptación de dos resultados de ensaye (unidades o %)</b>
<b>Precisión para un solo operador:</b>		
Asfaltos a 25°C, penetraciones bajo 50, (unidades)	0,35	1
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	1,4	4
Alquitranes a 25°C (*), (% de su media)	5,2	15
<b>Precisión entre laboratorios:</b>		
Asfaltos a 25°C, penetraciones bajo 50, (unidades)	1,4	4
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	3,8	11
Alquitranes a 25°C (*), (unidades)	1,4	4

(\*) La estimación de la precisión para los alquitranes está basada en los resultados de dos destilados de hulla con penetraciones de 7 y 24. La estimación puede no ser aplicable a materiales de dureza diferente.



#### 8.302.4 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE DESTILACIÓN PARA ASFALTOS CORTADOS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define el ensaye para la destilación de productos asfálticos cortados.

\* El Método 8.302.4 es una adaptación de la norma AASHTO T 78 – 78.

**2.- Resumen del Método.** En un matraz de 500 ml se destilan 200 ml de la muestra hasta 360°C, controlando la velocidad de variación de la temperatura en el líquido y midiendo los volúmenes de destilado obtenidos a temperaturas especificadas. El residuo de la destilación, y también el destilado, pueden ensayarse si así se requiere.

**3.- Significado.** El procedimiento mide la cantidad de constituyentes más volátiles en los productos asfálticos cortados. Las propiedades del residuo, después de la destilación, no son necesariamente características del ligante asfáltico usado en la mezcla original, ni del residuo que puede quedar después de cierto tiempo de utilizarse el producto asfáltico cortado. La presencia de silicona en los asfaltos cortados puede afectar al residuo del destilado por retraso en la pérdida de material volátil, después que el residuo ha sido vaciado al recipiente contenedor.

#### 4.- Aparatos

**4.1 Matraz de Destilación.** De 500 ml de capacidad con tubo lateral, que tenga las dimensiones mostradas en la Lámina 8.302.4.A, Figura 1.

**4.2 Condensador.** Camisa de vidrio normal, de 200 mm a 300 mm de longitud, con tubo condensador de 450 mm  $\pm$  10 mm de longitud (véase Lámina 8.302.4.B, Figura 1).

**4.3 Adaptador.** Pared de vidrio gruesa (1 mm), con refuerzo en el tope y un ángulo de aproximadamente 105°. El diámetro interior al final de la parte grande de 18 mm aproximadamente y al final de la parte pequeña, no menor de 5 mm. La superficie inferior del adaptador será una curva descendente suave desde el final de la parte mayor a la más pequeña. La línea interior del orificio de salida final debe ser vertical, y el orificio de salida será cortado, no pulido a fuego, en un ángulo de 45°  $\pm$  5° con la línea interior.

**4.4 Camisa Protectora.** Hoja metálica, medida 22, forrada con 3 mm de fibra de vidrio y provista con ventanas adecuadas transparentes, resistentes al calor y no decolorables, de la forma y dimensiones mostrada en la Lámina 8.302.4.A, Figura 2, usada para proteger el matraz de corrientes de aire y para reducir la radiación. La cubierta es de dos partes de cartón prensado de 6,45 mm.

**4.5 Protector y Soporte del Matraz.** Dos mallas de abertura aproximada de 1,18 mm, tejidas de alambre de níquel - cromo u otro resistente al calor, de 150 mm x 150 mm, dispuestas sobre un trípode o anillo.

**4.6 Fuente de Calor.** Quemador a gas ajustable tipo Bunsen o equivalente.

**4.7 Recibidores.** Probetas graduadas de 100 ml, conforme a graduación B, Lámina 8.302.4.B, Figura 2, de la norma ASTM E-133, o recibidores de 100 ml crow conforme a British Standard N° 658: 1962 (véase Lámina 8.302.4.B Figura 2).

**Nota 1 :** Recibidores de capacidad pequeña, que tengan divisiones de 0,1 ml, pueden ser usados cuando las expectativas de volumen total destilado sean bajas y se requiera una mayor exactitud.

**4.8 Contenedor del Residuo.** Un recipiente de metal sin costura de 240 ml, con tapa deslizable, de 75 mm  $\pm$  5 mm de diámetro y 55 mm  $\pm$  5 mm de altura.

Como medida de precaución, si el residuo se inflama después de vaciado, provéase de una tapa de material y tamaño adecuado para extinguir las llamas en el recipiente de hojalata de 240 ml.

**4.9 Termómetro.** Termómetro 8 C, conforme a la norma ASTM E1 o termómetro 6 C IP conforme a la especificación IP para Termómetros Normales.

**4.10 Balanza.** De 0,1 g de sensibilidad.

## 5.- Muestreo.

**5.1** Agite completamente la muestra, calentando si es necesario para asegurar homogeneidad, antes de sacar una porción para análisis.

**5.2** Si existe agua suficiente para causar espuma o burbujeo ruidoso, deshidrate una muestra de no menos de 250 ml por calentamiento en un matraz de destilación suficientemente grande para prevenir espuma sobre el interior del tubo lateral. Cuando la espuma cese, detenga el destilado. Si algún aceite liviano ha destilado, separe y vacíe éste al interior del matraz cuando el contenido ha enfriado lo suficiente para prevenir pérdida de aceites volátiles.

Mezcle el contenido del matraz completamente antes de extraer la muestra para análisis.

## 6.- Preparación del Aparato.

**6.1** Calcule la masa de 200 ml de la muestra a partir del peso específico del material a 15,5°C. Pese esta cantidad  $\pm 0,5$  g en el matraz de 500 ml.

**6.2** Coloque el matraz en la camisa protectora soportada por las dos mallas de alambre sobre un trípode o anillo. Conecte el tubo condensador con el tubo lateral del matraz con una unión de corchos hermética. Afirme el condensador de manera que el eje del bulbo del matraz a través del centro de su cuello esté vertical. Ajuste el adaptador sobre el final del tubo condensador, de manera que la distancia entre el cuello del matraz y el orificio de salida del adaptador sea  $650 \pm 50$  mm (ver Lámina 8.302.4.B).

**6.3** Inserte el termómetro ajustadamente a través del corcho en el cuello del matraz de forma que el bulbo del termómetro permanezca en el fondo del matraz. Alce el termómetro a 6,5 mm desde el fondo del matraz, usando la escala de divisiones del termómetro para estimar los 6,5 mm como la distancia sobre la superficie del corcho.

**6.4** Proteja el quemador con un protector o chimenea adecuado. Coloque el recibidor de manera que el adaptador alcance al menos 25 mm de la marca de 100 ml, pero nunca bajo ésta. Cubra la probeta cuidadosamente con un papel secante o material similar, de peso adecuado, previamente cortado para colocar el adaptador fácilmente.

**6.5** El matraz, tubo condensador, adaptador y recibidor deben estar limpios y secos antes de comenzar la destilación. Coloque el recipiente del residuo de 240 ml con su cubierta en un área libre de corrientes de aire.

**6.6** Circule agua fría a través del tubo condensador. Use agua caliente, si es necesario, para prevenir la formación de sólidos condensados en el tubo condensador.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

**7.1** Corrija la temperatura observada en la destilación, si la elevación del laboratorio en el cual se realiza la destilación es 150 m más sobre el nivel del mar. Las correcciones a las temperaturas por efecto de altitud se muestran en Tabla 8.302.4.A. Si conoce la presión barométrica predominante, en milímetros de mercurio, corrija aproximando a 1° C la temperatura observada con la corrección mostrada en Tabla 8.302.4 B (Nota 2). No corrija cuando la columna del termómetro esté en movimiento.

**Nota 2:** La Tabla 8.302.4.B abarca un amplio rango de temperaturas, desde 160 a 360°C; y esta especificación es preferida mundialmente, antes que las especificaciones AASHTO y ASTM / 1 P.

**7.2** Aplique calor de manera que la primera gota de destilado caiga del final del tubo lateral entre 5 y 15 min. Conduzca la destilación de manera de mantener las velocidades de gota que se indican (el conteo de las gotas debe hacerse en el extremo del adaptador).

- 50 a 70 gotas/ min para 260°C.
- 20 a 70 gotas/ min entre 260 y 316°C.
- No más de 10 min para completar la destilación desde 316 a 360°C.

Anote los volúmenes de destilado en el recipiente aproximado a 0,5 ml, a la temperatura corregida. Si el volumen de destilado recuperado es crítico, use recipientes graduados en divisiones de 0,1 ml y sumergidos en un baño transparente, mantenido a  $15,5 \pm 3^\circ\text{C}$ .

**Nota 3:** Algunos productos asfálticos cortados producen muy poco o nada de destilado en el rango de temperatura sobre 316°C. En ese caso llega a ser impracticable mantener la velocidad de destilación especificada. En esas situaciones el propósito del Método es saber si la velocidad de ascenso de la temperatura excede de 5°C/min.

**TABLA 8.302.4.A**  
**TEMPERATURA CORREGIDA PARA FRACCIONES DE DESTILADO A DISTINTAS ALTITUDES**

Elevación sobre el Nivel del mar(m)	Temperaturas para Fracciones de Destilado a Distintas Altitudes (°C)				
	192	227	263	318	362
-305	192	227	263	318	362
-152	191	226	261	317	361
0	190	225	260	316	360
152	189	224	259	315	359
305	189	224	258	314	358
457	188	223	258	313	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	312	355
914	186	220	255	311	354
1.067	185	220	254	310	353
1.219	184	219	254	309	352
1.372	184	218	253	308	351
1.524	183	218	252	307	350
1.676	182	217	251	306	349
1.829	182	216	250	305	349
1.981	181	215	250	305	348
2.134	180	215	249	304	347
2.286	180	214	248	303	346
2.438	179	213	248	302	345

**7.3** Cuando la temperatura alcance la temperatura corregida de 360°C, apague la llama y saque el matraz y termómetro. Con el matraz en posición de vaciado, saque el termómetro e inmediatamente vacíe el contenido en el recipiente para el residuo. El tiempo total desde que se corta la llama y comienza el vaciado no debe exceder de 15 s. Cuando se está vaciando, el tubo lateral debe estar totalmente horizontal para evitar que el condensado en el tubo empiece a regresar al residuo.

**Nota 4:** La formación de una película en la superficie del residuo durante el enfriamiento atrapa vapores, los cuales condensan y causan penetraciones más altas cuando ellos son nuevamente mezclados con la muestra. Si la película empieza a formarse durante el enfriamiento, debe ser empujada suavemente a un lado con una espátula, con un mínimo de alteración de la muestra.

**7.4** Deje que el condensador se vacíe al recipiente y anote el volumen total recolectado como el destilado total a 360°C.

**7.5** Cuando el residuo se enfríe, en el momento que deje de humear, mezcle completamente y vacíe en los recipientes para ensayar las propiedades tales como penetración, viscosidad o punto de ablandamiento, de acuerdo con estos Métodos, AASHTO, ASTM o IP, según se requiera.

**TABLA 8.302.4.B**  
**FACTOR PARA CALCULAR CORRECCIONES DE TEMPERATURA**

Temperatura Nominal °C	Corrección por mm Hg de Diferencia en Presión(*) °C
160	0,0514
175	0,0531
190	0,0549
225	0,0591
250	0,0620
260	0,0632
275	0,0650
300	0,0680
316	0,0698
325	0,0709
360	0,0751

(\*) Para restarlo, en caso que la presión barométrica esté bajo 760 mm Hg o sumarse en caso que la presión esté sobre 760 mm Hg.

- Corrección = (Presión observada - 760) x Corrección por mm Hg
- Ejemplo:
- Presión barométrica = 748 mm Hg
- Temperatura Nominal observada = 260°C
- Corrección = (748 - 760) x 0,0632 = 0,758
- Temperatura = 260 - 0,758 = 259°C (redondeado para aproximar a 1° C)

**7.6** Si se desea, el destilado o la combinación de destilados de varios ensayos puede someterse a un destilado adicional, de acuerdo con AASHTO T 115, o de acuerdo con AASHTO T 62 cuando el destilado es de origen alquitrán de hulla.

## 8.- Cálculos e Informe.

**8.1 Residuo Asfáltico.** Calcule el porcentaje de residuo aproximando a 0,1 punto porcentual como sigue:

$$R = \left[ \frac{200 - DT}{200} \right] \times 100$$

donde:

- R : Contenido de residuo. (% en volumen).
- DT : Destilado total recuperado a 360°C ( ml).

Informe como el residuo de destilación a 360°C, porcentaje en volumen por diferencia.

**8.2 Destilado Total.** Calcule el porcentaje total destilado aproximando a 0,1 puntos porcentuales como sigue:

$$DT \% = (DT/200) \times 100$$

Infórmelo como destilado total a 360°C, porcentaje en volumen

### 8.3 Fracciones Destiladas.

- a) Determine los porcentajes de volumen de la muestra original dividiendo el volumen (en ml) de la fracción observada por 2. Informe como porcentaje de volumen aproximado a 0,1 punto porcentual como sigue:
- Hasta 190°C
  - Hasta 225°C
  - Hasta 260°C
  - Hasta 316°C
- b) Determine los porcentajes de volumen del total destilado dividiendo por el volumen en milímetros observado a 360°C y multiplicando por 100. Informe como el destilado, porcentaje en volumen del destilado total a 360° C, aproximando a 0,1 punto porcentual, como sigue:
- Hasta 190°C
  - Hasta 225°C
  - Hasta 260°C
  - Hasta 316°C

8.4 Cuando la penetración, viscosidad u otro ensaye haya sido llevado a cabo, informe con respecto a este método como también cualquier otro método empleado.

Ejemplo: Penetración (Método 8.302.3) de residuo según 8.302.4.

9.- **Precisión.** Los siguientes criterios serán usados para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% probabilidad).

9.1 **Repetibilidad.** Valores duplicados del mismo operador serán considerados sospechosos si los porcentajes determinados difieren por más de 1,0 en volumen porcentual de la muestra original.

9.2 **Reproducibilidad.** Los valores informados por dos Laboratorios serán considerados sospechosos si los porcentajes informados difieren en más de lo siguiente:

- Fracción Destilada, % en volumen de muestra original
  - Hasta 175°C: 3,5 %
  - Sobre 175°C: 2,0 %
- Residuo, % en volumen por diferencia de la muestra original: 2,0 %.

FIGURA 1

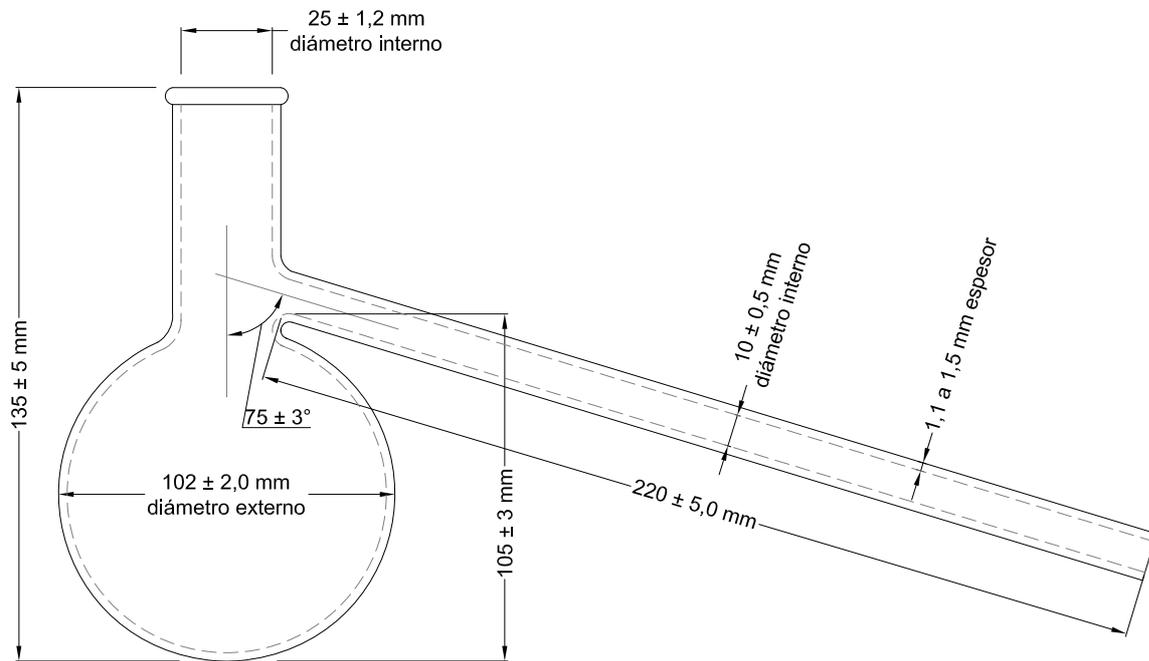
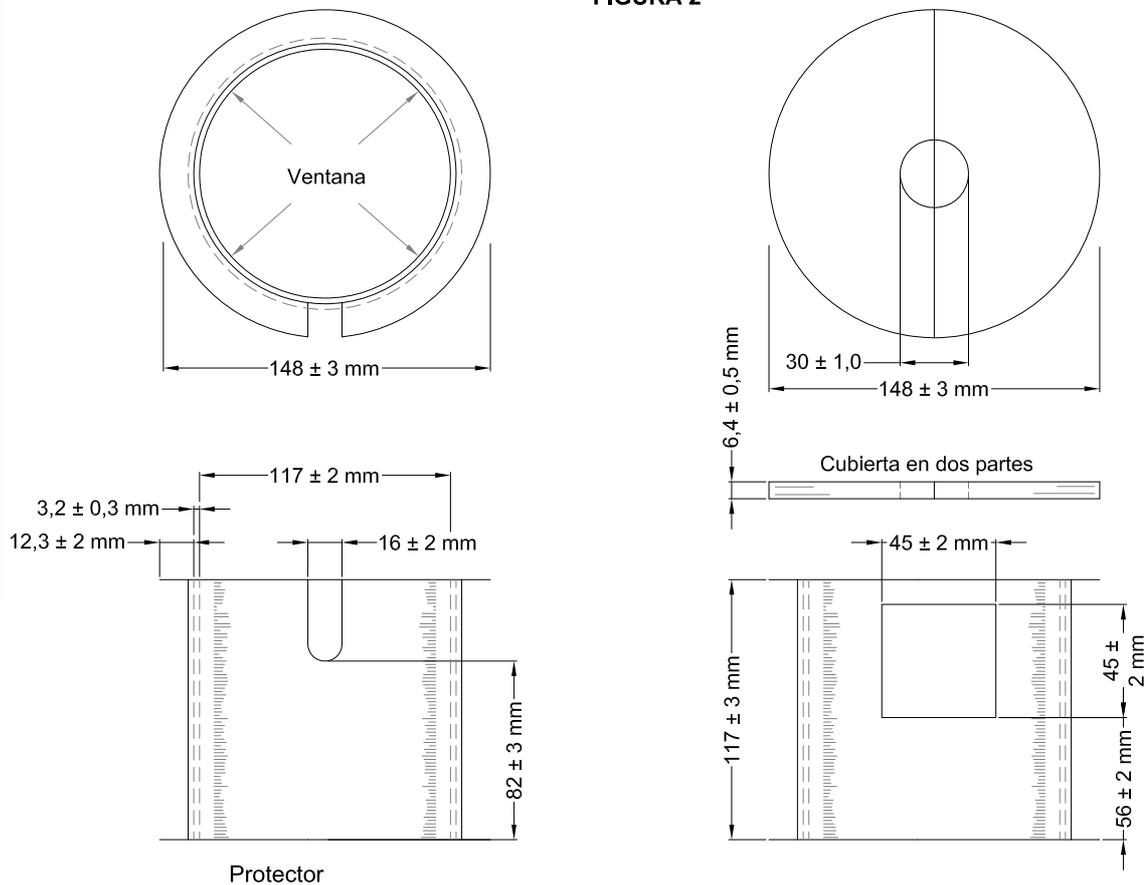


FIGURA 2



Cilindro de fondo abierto con reborde, hecho de lámina metálica 22 forrado con 3 mm de fibra de vidrio remachado al metal. Provisto de dos ventanas con ángulos rectos y una ranura en el fondo.

Dimensiones en mm.

Figura 1.

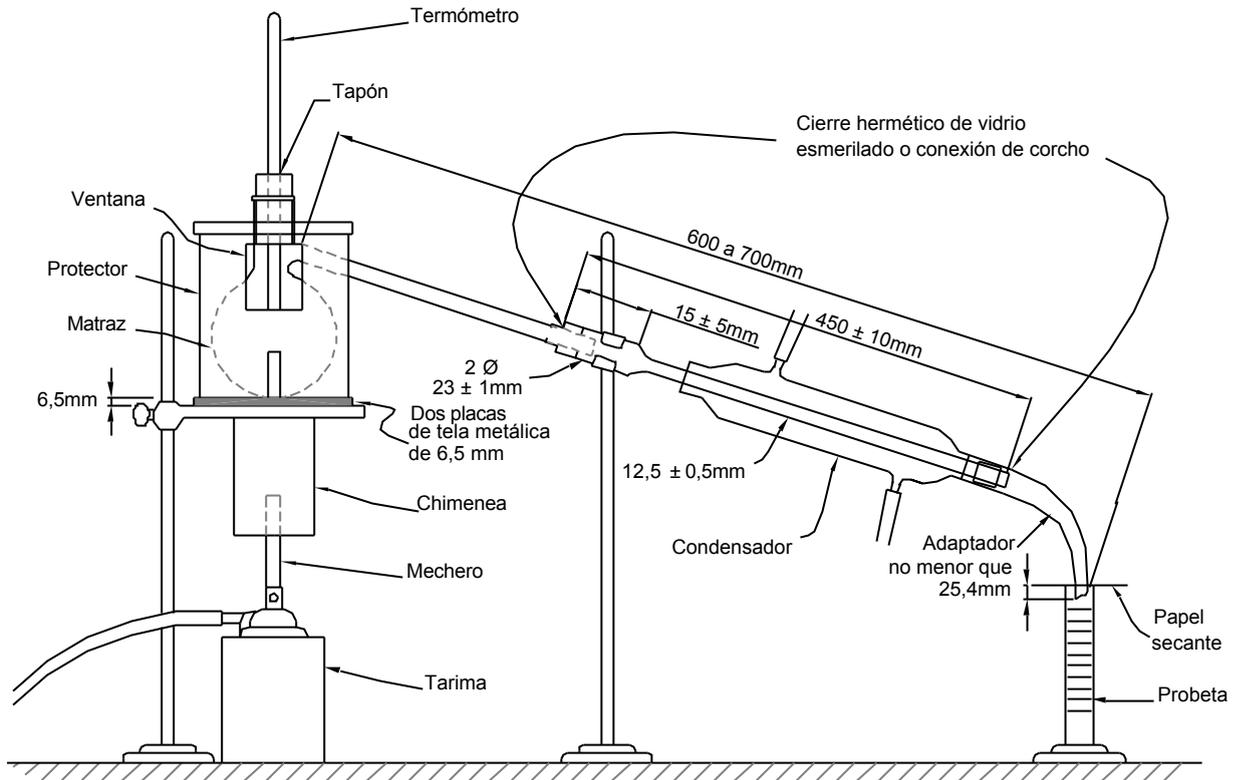
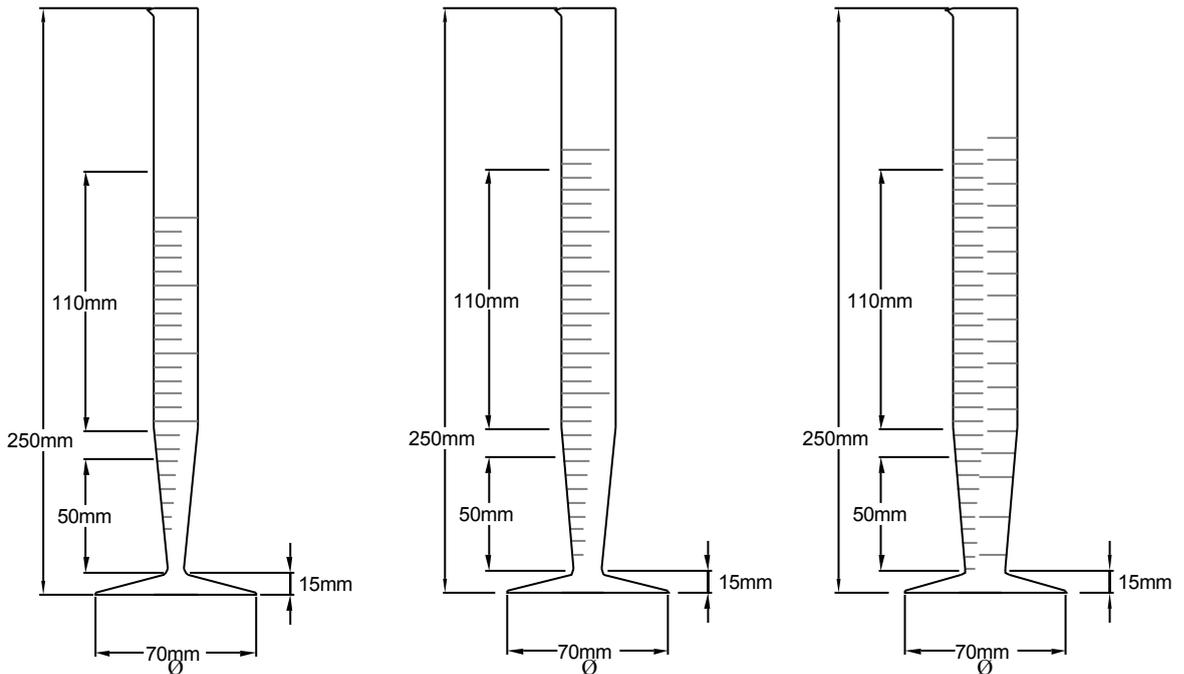


Figura 2.



Dimensiones en mm.



## 8.302.5 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE PARA EMULSIONES

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Los métodos que se describen mas adelante con los títulos: Composición, Consistencia, Estabilidad y Examinación del Residuo, se refieren al examen de asfaltos emulsificados compuestos principalmente de bases asfálticas líquidas o semisólidas, agua y un agente emulsificante.

Ensaye	Numeral
-Composición	
Residuo por destilación	2
Carga de partícula de emulsión asfáltica	3
-Consistencia	
Viscosidad Saybolt Furol	4
-Estabilidad	
Demulsibilidad	5
Sedimentación	6
Mezcla cemento	7
Tamizado	8
Congelamiento	9
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua	10
Almacenaje y estabilidad de las emulsiones asfálticas	11
- Examinación de residuo	12

### 2.- Residuo por Destilación.

#### 2.1 Aparatos.

- Destilador de aleación de aluminio (Lámina 8.302.5 A), aproximadamente de 240 mm de altura por 94 mm de diámetro interior, con un anillo quemador de  $125 \pm 5$  mm, que tiene orificios sobre la periferia interior y que se ajusta alrededor del destilador (Lámina 8.302.5 B, Fig. 1).
- Conexión del equipo consistente en un tubo conector, escudo de metal, un condensador enfriado por agua tipo West o Liebig con camisa de vidrio borosilicato o metal y un adaptador adecuado entre el condensador y la probeta graduada de 100 ml, de las dimensiones mostradas en la Lámina 8.302.5 B Fig. 2.
- Termómetros de destilación de rango reducido ASTM, graduados en grados Celsius como se especifica, con un rango entre  $- 2$  y  $+ 300^{\circ}\text{C}$ , y conforme a los requisitos para termómetros 7C como se prescribe en la norma ASTM E 1.

**Nota 1:** Para detalles del conjunto de piezas y aparatos para el ensaye de destilación, ver Lámina 8.302.5 B Fig. 2. Ver también Nota 2.

- Balanza de 5.000 g de capacidad, con una sensibilidad de 0,1 g.

#### 2.2 Procedimiento de Ensaye.

- Pese exactamente  $200 \pm 0,1$  g de una muestra representativa de emulsión, pese previamente el destilador, incluyendo tapa, abrazadera, termómetros y empaquetadura, si se usa.
- Use una empaquetadura de papel aceitado entre el destilador y la tapa o ensamble, apoyándolo en la tapa hermética. Asegure la abrazadera que cubre el destilador.
- Inserte un termómetro a través del corcho en cada uno de los pequeños orificios existentes en la tapa.  
Ajuste estos termómetros para que el final del bulbo de uno de ellos quede a 6,5 mm desde el fondo del destilador y el bulbo del otro quede aproximadamente a 165 mm desde el fondo del destilador.

- d) Ubique el anillo quemador alrededor del destilador, a 150 mm desde el fondo de éste. Aplique calor con el quemador encendido y ajustado a la llama al mínimo; también aplique calor con un quemador Bunsen al tubo conector, para prevenir la condensación de agua.
- e) Mueva el anillo quemador aproximadamente a nivel con el fondo cuando la temperatura leída en el termómetro inferior sea aproximadamente 215°C. Incremente la temperatura a  $260 \pm 5^\circ\text{C}$  manteniéndola por 15 min. La destilación total debe completarse en  $60 \pm 15$  min contados desde la primera aplicación de calor.

**Nota 2:** La localización del quemador al comienzo del ensaye es flexible; puede levantarse para disminuir el riesgo de sobreexpumación o bajarse a la mitad del destilador para emulsiones que no contienen solvente.

Los cambios repentinos de la temperatura en el termómetro superior indican espuma sobre el bulbo; quite calor hasta el cese de la espuma.

- f) Inmediatamente después de cumplido el período de calentamiento, pese nuevamente el destilador y accesorios como se indicó en 2.2 a). Calcule e informe el porcentaje de residuo por destilación; registre el volumen de aceite destilado aproximando a 1/2 ml; calcule e informe el aceite destilado como un porcentaje de volumen sobre el total de la emulsión. Guarde el aceite destilado si desea identificarlo.

**Nota 3:** El destilador a temperatura ambiente 2.2 a) pesa 1,5 g más que a  $260^\circ\text{C}$ , corrija este error adicionando 1,5 g del peso bruto obtenido en 2.2 f), antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación.

- g) Quite la tapa del destilador, agite e inmediatamente vierta una porción adecuada de residuo a través de un tamiz de 0,315 mm, dentro de una cápsula metálica de 240 ml, o dentro de un molde adecuado; guarde para realizar los ensayos requeridos. Deje que el residuo en el molde y cápsula se enfríe descubierto a la temperatura ambiente, y luego ensaye el residuo de acuerdo a lo descrito en numeral 12.

**2.3 Precisión.** Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad):

- a) Resultados duplicados del mismo operador no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran en más de las siguientes cantidades:
  - Residuo por destilación, % masa 50 a 70
  - Repetibilidad, % masa 1,0
- b) Los resultados enviados por cada uno de dos laboratorios no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran por más que las siguientes cantidades:
  - Residuo por destilación, % masa 50 a 70
  - Reproducibilidad, % masa 2,0

**2.4** La precisión para la penetración del residuo por destilación por este método, es la misma que se indica en 8.302.5 numeral 12.5, penetración u 8.302.3.

### 3.- Carga de Partícula.

#### 3.1 Aparatos.

- a) Fuente de 12 V de corriente continua, un miliamperímetro, y una resistencia variable (Láminas 8.203.5.C, Figuras 1 y 2).
- b) Dos placas de acero inoxidable de 25 por 102 mm, aislada una de la otra y sostenida rígidamente, separadas paralelamente a 13 mm (Lámina 8.302.5.C Figura 1)
- c) Vaso de boca ancha de 150 ó 250 ml.

### 3.2 Procedimiento de Ensaye.

- a) Vierta la cantidad de emulsión por ensayar dentro del vaso de 150 ó 250 ml, de modo que los electrodos queden inmersos aproximadamente 25 mm en la emulsión.
- b) Conecte los electrodos, previamente limpiados y secados, a la fuente de corriente e insértelos aproximadamente 25 mm dentro de la emulsión.
- c) Ajuste la corriente a un mínimo de 8 mA, con la resistencia variable y comience a medir con un cronómetro adecuado.
- d) Cuando la corriente ha caído a 2 mA o a los 30 min, lo que ocurra primero, desconecte la fuente de corriente y suavemente lave los electrodos con un chorro de agua.
- e) Observe el asfalto depositado sobre los electrodos; una emulsión catiónica depositará una capa apreciable de asfalto sobre el cátodo, electrodo negativo, mientras que el ánodo, electrodo positivo, quedará relativamente limpio; esto indica una carga positiva. De igual forma, una emulsión aniónica depositará una capa apreciable de asfalto sobre el ánodo, electrodo positivo, quedando el cátodo relativamente limpio; ello indica una carga negativa.

**3.3 Informe.** informe el resultado del ensaye en términos de polaridad determinada positiva o negativa como se definió en 3.2 e).

## 4.- Ensaye de Viscosidad.

### 4.1 Aparatos.

- a) Un viscosímetro Saybolt, conforme a los requisitos especificados en el Método 8.302.12 Asfaltos: método para determinar la viscosidad Saybolt.
- b) Un tamiz de 0,85 mm.
- c) Termómetro ASTM 17 C para ensayos a 25°C y ASTM 19C para ensayos a 50°C, conforme con los requisitos de ASTM E 1.
- d) Baño de agua, capaz de mantener la temperatura requerida en el ensaye dentro de los límites especificados en la Tabla 8.302.12.B.

### 4.2 Procedimiento de Ensaye.

- a) Ensaye a 25°C. Agite la mezcla cuidadosamente sin incorporar burbujas y vierta de 100 a 110 ml dentro de una botella de 120 ml y tape firmemente. Coloque la botella en el baño de agua a 25°C durante 30 min y mezcle la muestra, invirtiéndola lentamente varias veces para prevenir la formación de burbujas. Vierta la muestra dentro del viscosímetro a través de la malla 0,85 mm, dejando fluir una pequeña cantidad antes de colocar el corcho. Coloque el corcho en posición y llene el viscosímetro hasta que el líquido derrame sobre el borde del rebalse y, sin perturbar la muestra de ninguna forma, determine la viscosidad como se prescribió en el Método 8.302.12.
- b) Ensaye a 50°C. Limpie y seque el viscosímetro e inserte el corcho, agite la muestra cuidadosamente sin incorporar burbujas, luego vierta aproximadamente 100 ml en un vaso de vidrio de 400 ml de boca ancha. Sumerja el fondo del vaso conteniendo la emulsión, aproximadamente 50 mm bajo el nivel del baño de agua a  $71 \pm 3^\circ\text{C}$ . Sostenga el vaso verticalmente y revuelva la emulsión con el termómetro, con un movimiento circular a una velocidad de 60 rpm para obtener una distribución uniforme de temperatura; evite la incorporación de burbujas. Caliente la emulsión, en un baño de agua a  $51 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ; inmediatamente vierta la emulsión a través de la malla 0,85 mm dentro del viscosímetro, por sobre el nivel de rebalse. Agite la emulsión a 60 rpm con el termómetro hasta obtener la temperatura de ensaye, evite la formación de burbujas. Ajuste la temperatura del baño hasta que la temperatura de la emulsión permanezca constante por 1 min. A  $50 \pm 0,5^\circ\text{C}$  retire el termómetro; rápidamente remueva el exceso de emulsión desde el rebalse con una pipeta de succión. Determine la viscosidad como se describe en el Método 8.302.12. Informe los resultados aproximando al segundo.

**Nota 4:** Si bien el viscosímetro Saybolt no se usa para productos del petróleo y lubricantes cuando el tiempo de flujo es menor que 25 s, este instrumento es satisfactorio para ensayos de emulsión asfáltica cuando el tiempo de flujo no es menor que 20 s.

**4.3 Precisión.** El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad).

- a) Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las cantidades siguientes:

Temp. Ensaye (°C)	Viscosidad (s)	Repetibilidad % de la media
25	20 a 100	5
50	75 a 400	9,6

- b) Los resultados enviados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Temp. Ensaye (°C)	Viscosidad (s)	Reproducibilidad % de la media
25	20 a 100	15
50	75 a 400	21

## 5.- Demulsibilidad.

### 5.1 Aparatos y Reactivos.

- Tres mallas de alambre de 1,40 mm (N° 14), de aproximadamente 125 mm por lado, sin bastidor; el alambre de abertura y diámetro de acuerdo a NCh 1022.
- Tres vasos de 600 ml de capacidad cada uno.
- Tres varillas de metal con puntas redondeadas, de aproximadamente 8 mm de diámetro.
- Bureta de vidrio de 50 ml, graduada con intervalos de 0,1 ml.
- Solución de Cloruro de Calcio (5,55 g/l); disuelva 5,55 g de cloruro de calcio en agua destilada y diluya en 1 L.
- Solución de Cloruro de Calcio (1,11 g/l); disuelva 1,11 g de cloruro de calcio en agua destilada y diluya en 1 L.
- Solución de Dioctyl Sulfosuccinato de Sodio (8,0 g/l); disuelva 8,0 g de dioctyl sulfosuccinato de sodio en agua destilada y diluya en 1 L, para usar con emulsiones catiónicas (ver Método 8.301.5).
- Balanza de 1.000 g de capacidad y una precisión de 0,01 g.
- Horno termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de  $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2 Procedimiento.

- Determine el porcentaje de residuo por destilación como se describe en 2.2.
- Anote la masa de cada pieza del conjunto, vaso, varilla y malla.
- Pese  $100 \pm 0,1$  g de emulsión asfáltica en cada uno de los tres vasos de 600 ml pesados anteriormente. Lleve la muestra de emulsión pesada y el reactivo a la temperatura de  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Durante un período de aproximadamente 120 s agregue a cada vaso, desde una bureta, 35 ml de solución de cloruro de calcio (1,11 g/l) para emulsiones de quiebre rápido o 50 ml de cloruro de calcio (5,55 g/l) para otras emulsiones que no sean de quiebre rápido. Mientras adiciona la solución de cloruro de calcio, agite el contenido del vaso continua y vigorosamente, amasando la muestra contra el costado del vaso, para asegurar un mezclado completo del reactivo con la emulsión. Continúe amasando la muestra por unos 120 s después de la adición de la solución de cloruro de calcio. (Nota 5).

**Nota 5:** Cuando ensaye emulsiones catiónicas, use 35 ml de solución de dioctyl sulfosuccinato de sodio (8,0 g/l) en lugar de 35 ml de solución de cloruro de calcio (1,11 g/l). La precisión no se aplica

cuando se usa solución de dioctyl sulfosuccinato de sodio en el ensaye de demulsibilidad, para emulsiones catiónicas sección 5.4.

- d) Trasvase la mezcla de emulsión no quebrada y el reactivo sobre la malla. Lave con agua destilada el vaso que contiene la muestra y la varilla de metal; amase y desmenuce toda la masa y continúe lavando el vaso, la varilla y la malla hasta que el agua de lavado salga clara. Traspase el contenido de asfalto de la malla al vaso con la varilla de metal. Lleve el conjunto a un horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y seque hasta masa constante. Precaliente a temperatura más baja para prevenir salpicaduras.

**5.3 Cálculos.** Reste la tara del vaso, la varilla y la malla seca del conjunto, obteniendo el residuo de la demulsibilidad. Calcule la demulsibilidad como sigue:

$$\text{DEMULSIBILIDAD (\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

donde:

- A : Masa promedio del residuo de demulsibilidad de los tres ensayos de cada muestra de emulsión asfáltica.  
B : Masa del residuo por destilación en 100 g de emulsión asfáltica.

**5.4 Precisión.** El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados a emulsiones RS (Nota 6) (95% probabilidad).

**Nota 6:** La precisión no se aplicará cuando se use solución solo de dioctyl sulfosuccinato de sodio en el ensaye de demulsibilidad para emulsiones catiónicas.

- a) Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran en una cantidad mayor que la siguiente:

Demulsibilidad Masa, %	Repetibilidad % de la media
30 a 100	5

- b) Los resultados entregados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades.

Demulsibilidad, Masa, %	Reproducibilidad % de la media
30 a 100	30

## 6.- Sedimentación.

### 6.1 Aparatos.

- a) Dos cilindros de vidrio de 500 ml con base ajustada o moldeada, tapones de corcho o vidrio u otro medio adecuado que los selle herméticamente y que tengan un diámetro externo de  $50 \pm 5$  mm y graduación de 5 ml.  
b) Pipeta de vidrio; un sifón y pipeta de 60 ml de forma opcional.  
c) Balanza como se especifica en 5.1 h).  
d) Horno como se especifica en 5.1 i).

## 6.2 Procedimiento.

- a) Ponga 500 ml de muestra representativa en cada uno de los cilindros de vidrio. Tape el cilindro y déjelo sin perturbar en el laboratorio a la temperatura ambiente por 5 días. Después de este período, remueva aproximadamente 55 ml de la parte superior de la emulsión, por medio de la pipeta o sifón, sin alterar el resto. Mezcle cada porción completamente; pese 50 g de cada muestra por separado, en vasos de vidrio, tarados, de 600 ml y determine el residuo asfáltico por evaporación, colocando la muestra en un horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  mínimo por 2 horas, hasta masa constante.
- b) Después de remover la parte superior de la muestra, saque con una pipeta o sifón aproximadamente 390 ml de cada cilindro. Mezcle toda la emulsión remanente en el cilindro y pese 50 g por separado, en los vasos de vidrio tarados de 600 ml. Determine el residuo asfáltico de cada muestra de acuerdo con 6.2 a).

## 6.3 Cálculos.

Calcule la sedimentación como sigue:

$$\text{SEDIMENTACION (\% (5 días))} = B - A$$

donde:

- A : Promedio del porcentaje de residuo de la parte superior de la muestra.  
B : Promedio del porcentaje de residuo del fondo de la muestra.

## 6.4 Precisión.

El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

**6.4.1 Repetibilidad.** Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran en una cantidad mayor que la señalada:

Sedimentación Masa, %	Repetibilidad
0,0 a 1,0 sobre 1,0	0,4% de la masa 5% de la media

**6.4.2 Reproducibilidad.** Los resultados entregados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades.

Sedimentación % masa	Reproducibilidad
0 a 1,0 sobre 1,0	0,8% de la masa 10% de la media

## 7.- Mezcla Cemento.

### 7.1 Aparatos.

- a) Un tamiz de 0,180 mm y 75 mm de diámetro y uno de 1,40 mm, confeccionados con malla de alambre conforme a NCh 1022.
- b) Bolo mezclador de vidrio o metal de aproximadamente 500 ml de capacidad.
- c) Una varilla de acero o vidrio con puntas redondeadas, de aproximadamente 10 mm de diámetro.
- d) Un cilindro graduado de 100 ml.
- e) Una balanza de 1.000 g, con una precisión de 0,01 g.
- f) Horno como se especifica en 5.1 i).

## 7.2 Cemento.

Cemento Portland Puzolánico de alta resistencia, conforme a los requisitos de NCh 148 y que tenga una superficie específica mínima de 3.450 cm<sup>2</sup>/g, determinada según norma AASHTO T 153.

## 7.3 Procedimiento.

- a) Diluya la emulsión con agua destilada hasta un 55% del residuo, determinado por destilación o por evaporación por 3 h a 110 ± 5 °C hasta masa constante.
- b) Tamice una porción del cemento a través del tamiz 0,180 mm. Pese 50 ± 0,1 g del cemento que pase por el tamiz 0,180 mm dentro del bolo mezclador.
- c) Lleve los ingredientes y aparatos a una temperatura de aproximadamente 25°C antes de mezclar. Agregue 100 ml de la emulsión diluida al cemento y agite la mezcla al mismo tiempo con la varilla, usando un movimiento circular a una velocidad de 60 rpm. Al término de 1 min del período de mezcla, agregue 150 ml de agua destilada y continúe la agitación por 3 min.
- d) Vierta la mezcla a través del tamiz 1,40 mm previamente tarado. Use repetidos lavados para remover completamente el material mezclado en el bolo. Vierta esto sobre el tamiz y lávelo usando agua destilada desde una altura de aproximadamente 150 mm, hasta que ésta salga completamente limpia y transparente. Coloque el tamiz en un plato bajo tarado y caliente a 110 ± 5°C hasta masa constante. Repita el calentamiento y las pesadas hasta que pesadas sucesivas no difieran en más de 0,1 g.

**7.4 Informe.** Informe el peso, en gramos, del material retenido en el tamiz y en el plato, como el porcentaje de quiebre en el ensaye mezcla cemento.

**7.5 Precisión.** El siguiente criterio será usado para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% de probabilidad).

**7.5.1 Repetibilidad.** Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerado dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Mezcla cemento, % masa	Repetibilidad, % masa
0 a 2	0,2

**7.5.2 Reproducibilidad.** Los resultados entregados por cada uno de dos laboratorios no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Mezcla cemento, % masa	Reproducibilidad, % masa
0 a 2	0,4

## 8.- Ensaye de Tamizado.

### 8.1 Aparatos y Reactivos.

- a) Tamiz de 75 mm de diámetro, teniendo una malla tejida de alambre de 0,85 mm (N° 20)
- b) Paila metálica o caja poco profunda de tamaño apropiado, adaptada para la parte inferior del tamiz.
- c) Solución de oleato de sodio (2%); disuelva 2 g de oleato de sodio puro en agua destilada y diluya en 100 ml(6).

**Nota 6:** Reemplace la solución de oleato de sodio por agua destilada en ensayos de emulsiones catiónicas.

d) Balanza con una capacidad de 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

**8.2 Procedimiento.** Registre la masa del tamiz y la paila y moje la malla de alambre con una solución al 2% de oleato de sodio. Pese 1 kg de la emulsión asfáltica dentro de un recipiente adecuado y vierta a través del tamiz; lave el recipiente y el residuo sobre el tamiz con la solución de oleato de sodio hasta que el agua de lavado salga clara. Coloque la paila bajo el tamiz y caliente por 2 h a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  en horno de secado.

Enfríe en el desecador y pese tamiz, paila y residuo.

### 8.3 Cálculos.

Calcule el porcentaje de muestra retenida sobre el tamiz en la forma siguiente:

$$\text{Porcentaje de muestra retenida (\%)} = \frac{B - A}{10}$$

donde:

- A : Masa del tamiz y paila (g).
- B : Masa del tamiz más paila y residuo (g)

**8.4 Precisión.** Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

**8.4.1 Repetibilidad.** Los resultados duplicados por un mismo operador no se considerarán dudosos, a menos que difieran por más de las siguientes cantidades:

Ensaye de tamizado, % masa	Repetibilidad, % masa
0 a 0,1	0,03

**8.4.2 Reproducibilidad.** Los resultados obtenidos por cada uno de dos laboratorios no se considerarán dudosos, a menos que difieran por más de las siguientes cantidades:

Ensaye de tamizado, % masa	Reproducibilidad, % masa
0 a 0,1	0,08

## 9.- Ensaye de Congelamiento.

### 9.1 Procedimiento de Ensaye.

- a) Coloque aproximadamente 400 g de la emulsión en un recipiente metálico limpio, de 500 ml, de manera que pueda cerrarse a presión en la parte superior.
- b) Exponga la emulsión en el recipiente cerrado a una temperatura de  $-18^\circ\text{C}$  por 12 h o más, consecutivas.
- c) Al término del período de congelamiento deje que la emulsión se deshiele en el recipiente exponiéndola a la temperatura ambiente.
- d) Repita los períodos de hielo y deshielo hasta que la emulsión haya sido sometida a 3 ciclos.
- e) Después de los 3 ciclos, la emulsión se mantiene homogénea o se separa en distintas capas; en este último caso no vuelva a homogeneizarla por mezclado a la temperatura del laboratorio.
- f) Informe los resultados de este ensaye como Homogénea o Quebrada.

## 10.- Capacidad de Cubrimiento y Resistencia al Agua(Nota 7).

**Nota 7:** Este método especifica como se determina la capacidad de una emulsión asfáltica de cubrir un agregado completamente, resistiendo la acción del mezclado mientras permanece como una película

en el agregado, y como resiste el lavado con agua después de completado el mezclado. El método es un intento primario para ayudar en la identificación de una emulsión adecuada para mezclarla con agregados calcáreos de graduación gruesa (Ver Notas 8 y 9 para aplicación del método para otros agregados).

### 10.1 Aparatos.

- a) Bolo de mezclado, con una capacidad de aproximadamente 3 l.
- b) Espátula de acero o su equivalente; debe tener una hoja de aproximadamente 200 mm de longitud.
- c) Tamices de 20,0 mm y 5,0 mm.
- d) Aparato pulverizador de agua de nivel constante: Un aparato para colocar una llave de agua a un nivel constante de 780 mm (Láminas 8.302.5.D, Figuras 1 y 2). El agua debe fluir desde el aparato pulverizada a baja velocidad.
- e) Un termómetro ASTM 15 C que tenga un rango de -2 a 80°C y cumpla con los requisitos de ASTM E 1.
- f) Balanza con capacidad de 2.000 g y precisión de 0,1 g.
- g) Pipeta de 10 ml de capacidad.

### 10.2 Materiales

- a) Los agregados normales de referencia serán lavados y secados al aire en el laboratorio. La graduación de agregados calizos (Nota 8) deben pasar tamiz 20,0 mm y serán retenidos por el tamiz 5,0 mm.

**Nota 8:** Se pueden usar otros agregados además de los calizos, suministrando carbonato de calcio, lo que está omitido a través de todo el Método. También se omite el lavado y secado de esos agregados en el laboratorio.

- b) Carbonato de calcio químicamente puro; use precipitado de carbonato de calcio ( $\text{Ca CO}_3$ ) como polvo para emplearlo con los agregados de referencia normal.
- c) Use agua dura que no contenga más de 250 ppm de  $\text{Ca CO}_3$  para rociarla sobre la muestra.

**10.3 Muestra.** La muestra de la emulsión asfáltica a ensayar será representativa.

### 10.4 Procedimiento para Ensayar con Agregados Secos.

- a) Llevar a cabo el ensaye a  $25 \pm 5$  °C
- b) Pesar  $461,0 \pm 1$  g del agregado graduado de referencia seco, en el bolo mezclador.
- c) Pesar 4 g de carbonato de calcio en el bolo mezclador y mezclar con 461 g (Nota 9) de agregados, por aproximadamente un minuto con una espátula, obteniendo una película uniforme de polvo sobre las partículas del agregado.

**Nota 9:** El peso total del agregado y el polvo debe ser igual a 465 g. Si no se incluye carbonato de calcio, el peso del agregado solo deberá ser de 465 g.

- d) Pese  $35 \pm 0,1$  g de emulsión asfáltica dentro del bolo con agregado y mezcle vigorosamente con la espátula por 5 min, usando una acción establecida de mezclado por movimientos de trayectorias elípticas de arriba hacia abajo con la espátula. Al final del período de mezclado incline el bolo y no permita que un exceso de emulsión drene sobre el agregado del bolo.
- e) Quite aproximadamente la mitad de la mezcla del bolo y colóquela sobre un papel absorbente y evalúe el cubrimiento.
- f) Inmediatamente rocíe suavemente la mezcla remanente en el bolo con agua sacada del aparato rociador a nivel constante, para cubrirla totalmente. La distancia entre la boquilla rociadora y la muestra será de  $305 \pm 75$  mm. Luego, cuidadosamente vierta el agua fuera; continúe rociando y sacando el agua hasta que ésta salga clara. Drene cuidadosamente el agua en el bolo; saque la mezcla desde el bolo y colóquela sobre un papel absorbente para su evaluación de retención de cubrimiento, en el ensaye de lavado.

- g) Evalúe inmediatamente la mezcla, por una estimación visual, como el total del área superficial del agregado que está cubierto con asfalto.
- h) Repita la evaluación por estimación visual del cubrimiento del área superficial del agregado por el asfalto, después que la mezcla ha sido secada superficialmente en el laboratorio a temperatura ambiente. Si se desea puede usarse un ventilador para el secado.

#### 10.5 Procedimiento para el Ensaye con Agregados Húmedos.

- a) Proceda en acuerdo con 9.1 a), b) y c).
- b) Con la pipeta retire 9,3 ml de agua y agregue a la mezcla agregado y  $\text{Ca CO}_3$  en polvo; mezcle en el bolo completamente hasta obtener una mezcla uniformemente húmeda.
- c) Continúe de acuerdo con 9.1 d), e) y f).

#### 10.6 Interpretación de Resultados.

Evalúe y registre la siguiente información de ambos ensayos, con agregados secos y húmedos.

- a) Al final del período de mezclado, registre el cubrimiento total del área superficial del agregado por la emulsión asfáltica, como “muy bueno”, “bueno” o “regular”. La estimación “muy bueno” significa que está completamente cubierto por la emulsión asfáltica, inclusive los pequeños agujeros y las aristas del agregado; la estimación “bueno” de cubrimiento se aplica a la condición de una mayor área cubierta por sobre la descubierta y la estimación “regular” se aplica a la condición de una mayor área descubierta por sobre la cubierta.
- b) Después del rociado con agua, registre el cubrimiento del total del área superficial del agregado por el asfalto como muy bueno, bueno o regular.
- c) Después del secado en el laboratorio, registre el cubrimiento del total del área superficial del agregado por el asfalto como muy bueno, bueno o regular.
- d) Se pueden incluir comentarios respecto de los resultados de los ensayos de evaluación.

#### 11.- Capacidad de Almacenaje de la Emulsión Asfáltica.

**11.1 Objetivo.** El Método describe la capacidad de una emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el almacenaje. Es aplicable a emulsiones asfálticas compuestas principalmente de una base líquida o semisólida, agua y un agente emulsificante.

**11.2 Resumen del Método.** El método determina la diferencia del contenido asfáltico de muestras tomadas de la parte superior e inferior del material almacenado sin perturbar por 24 horas. El resultado se expresa como la diferencia entre el porcentaje promedio de la muestra tomada en la parte superior e inferior de dos cilindros almacenados.

**11.3 Significado.** El método se usa para determinar, en corto tiempo, comparativamente, la estabilidad de almacenaje de la emulsión asfáltica. Esta es una medida de permanencia de la dispersión en relación al tiempo, pero esto no puede ser interpretado como una medida significativa si se tienen otros aspectos de la estabilidad involucrados en el uso.

#### 11.4 Aparatos.

- a) Dos cilindros de vidrio de 500 ml con base ajustada o moldeada de vidrio, tapones de corcho o de vidrio u otro medio adecuado que los selle herméticamente. Deben tener un diámetro exterior de  $50 \pm 5$  mm y graduación de 5 ml.
- b) Sifón y pipeta de 60 ml de forma opcional.
- c) Balanza de 1.000 g de capacidad, con precisión de 0,01 g.
- d) Horno que cumpla con lo dispuesto en 5.1 i).

#### 11.5 Procedimiento.

- a) Lleve la emulsión asfáltica a temperatura de la sala ( $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ). Coloque 500 ml de una muestra representativa en cada uno de los cilindros de vidrio. Tape el cilindro y deje la muestra sin

perturbar en el laboratorio a la temperatura de la sala por 24 h. Después de este período de reposo, saque aproximadamente 55 ml de la parte superior por medio de una pipeta o sifón, sin perturbar la muestra. Mezcle completamente cada porción.

- b) Pese  $50 \pm 0,1$  g de cada muestra dentro de un vaso de vidrio o aluminio de 600 ó 1.000 ml; cada vaso debe ser previamente tarado con una varilla de vidrio de 6 mm de diámetro por 180 mm de longitud. Ajuste la temperatura del horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Luego coloque el vaso conteniendo la varilla y la muestra en el horno por 2 h. Al final de este período, saque los vasos y revuelva completamente el residuo. Vuelva a colocar al horno por 1 h; luego saque los vasos del horno y deje enfriar a temperatura ambiente y pese con la varilla incluida. Repita hasta lograr masa constante.
- c) Después de quitar la muestra de la parte superior, saque con el sifón aproximadamente los próximos 390 ml de cada cilindro; mezcle completamente la emulsión remanente en el cilindro y pese 50 g en un vaso de aluminio o vidrio de 600 ó 1.000 ml, previamente tarado. Determine el residuo asfáltico de estas muestras de acuerdo con 11.5 b).

**11.6 Cálculos.** Calcule la capacidad de almacenaje como la diferencia numérica entre el promedio de los porcentajes de residuo asfáltico encontrados en las dos muestras de la parte inferior y las dos muestras de la parte superior.

### 11.7 Precisión.

**11.7.1 Repetibilidad.** La desviación estándar de la repetibilidad es de 0,2%. La diferencia del promedio entre dos resultados obtenidos por el mismo operador con el mismo equipo, pero no concurrentemente, será aproximadamente 0,2%. Estos dos valores serán considerados dudosos (95% nivel de confiabilidad) si ellos difieren por más de 0,5%.

**11.7.2 Reproducibilidad.** La desviación estándar de la reproducibilidad es de 0,2%. El promedio de la diferencia entre dos resultados obtenidos por operadores en laboratorios diferentes será aproximadamente 0,3%. Estos dos valores serán considerados dudosos (95% nivel de confiabilidad) si ellos difieren por más de 0,6%.

**Nota 10:** Si este Método de ensaye se efectúa usando solamente un cilindro, en lugar de dos por cada determinación como se especifica, entonces deberá usar los siguientes criterios de precisión.

% Repetibilidad		% Reproducibilidad	
Desviación normal	0,2	Desviación normal	0,2
Diferencia promedio	0,3	Diferencia promedio	0,3
Criterio dudoso	0,5	Criterio dudoso	0,6

## 12.- Examen del Residuo.

**12.1 Alcance.** Los ensayos de densidad, contenido de cenizas, solubilidad en tricloroetileno, penetración, ductilidad y flotación se sugieren para el examen del residuo de la emulsión obtenido por destilación o evaporación

**12.2 Densidad.** Determine la densidad sobre una porción representativa del residuo de acuerdo con el Método 8.302.2, Determinación de la Densidad del Asfalto.

**12.3 Contenido de Cenizas.** Determine la ceniza colocando 2 a 5 g de residuo de la muestra ( $m_i$ ) en un crisol tarado de porcelana o platino y pese la muestra, aproximando a 0,1 g. Queme lentamente la materia combustible y finalmente calcine el residuo hasta que la ceniza quede libre de materia carbonosa. Enfríe el crisol y su contenido en un desecador y pese ( $m_f$ ) informando el resultado como porcentaje de ceniza.

$$\% \text{Ceniza} = \frac{\Delta m}{m_i} \times 100 = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

**12.4 Solubilidad en Tricloroetileno.** Determine la solubilidad en tricloroetileno sobre una porción representativa del residuo de acuerdo con el Método 8.302.11 Determinación de la Solubilidad en Solventes Orgánicos.

#### **12.5 Penetración.**

- a) Determine la penetración sobre una porción representativa de residuo de acuerdo con el Método 8.302.3 Ensaye de Penetración.
- b) Utilice el siguiente criterio para juzgar la confiabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

##### **12.5.1 Repetibilidad**

- Resultados duplicados por un mismo operador no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

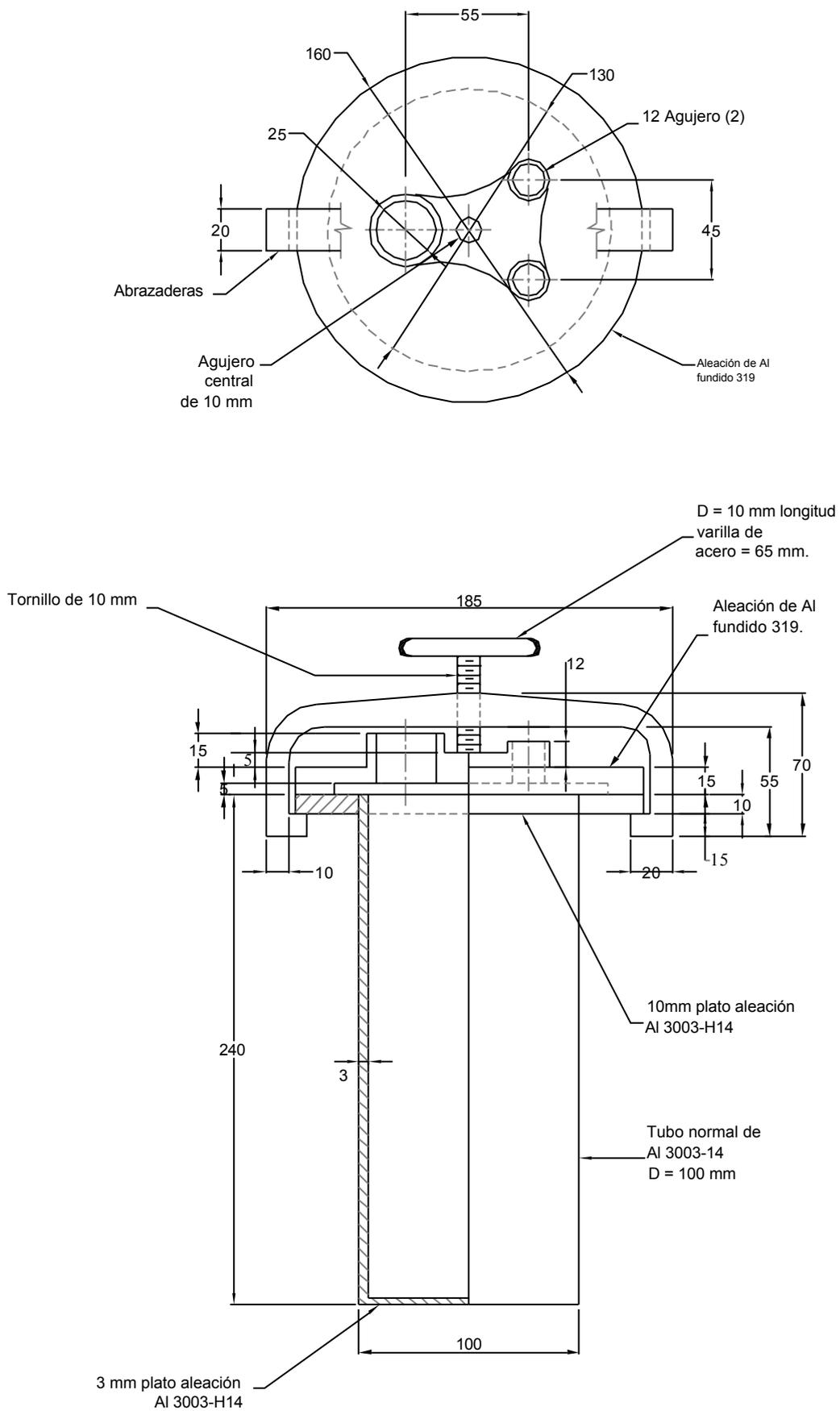
Rango de penetración del residuo	80 a 200
Repetibilidad, puntos	15

##### **12.5.2 Reproducibilidad**

- Los resultados obtenidos por dos laboratorios no serán considerados dudosos a menos que ellos difieran en más de las siguientes cantidades:

Rango de Penetración del residuo	80 a 200
Reproducibilidad, puntos	30

**12.6 Ductilidad.** Determine la ductilidad de una porción representativa del residuo de acuerdo con el Método 8.302.8 Determinación de la ductilidad.



Nota: Dimensiones en mm.

Figura 1.

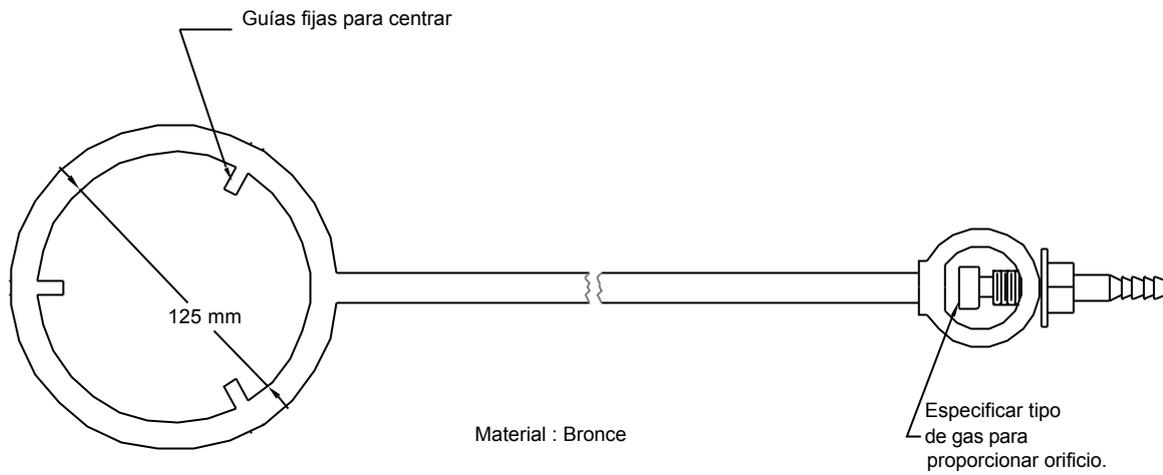
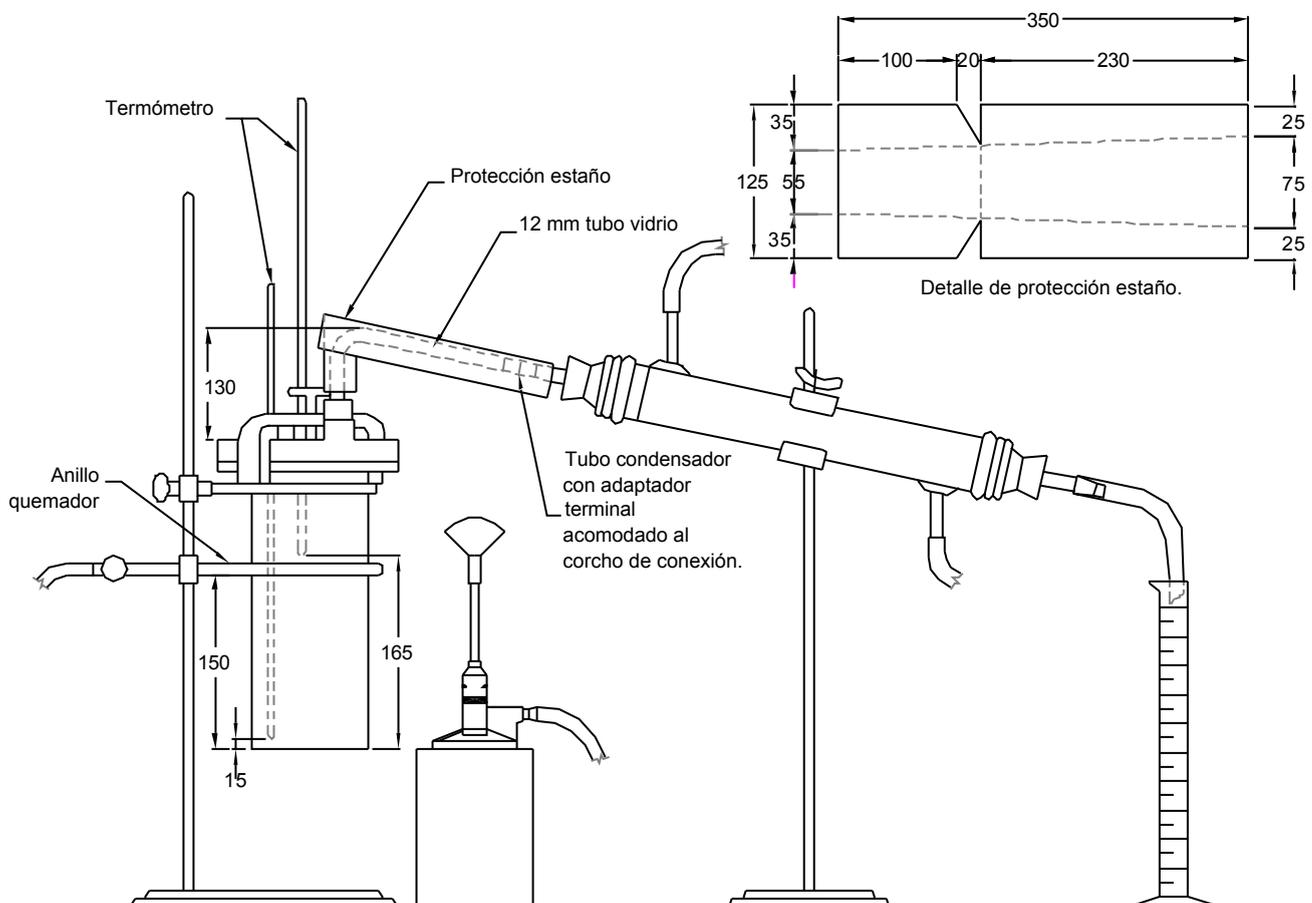
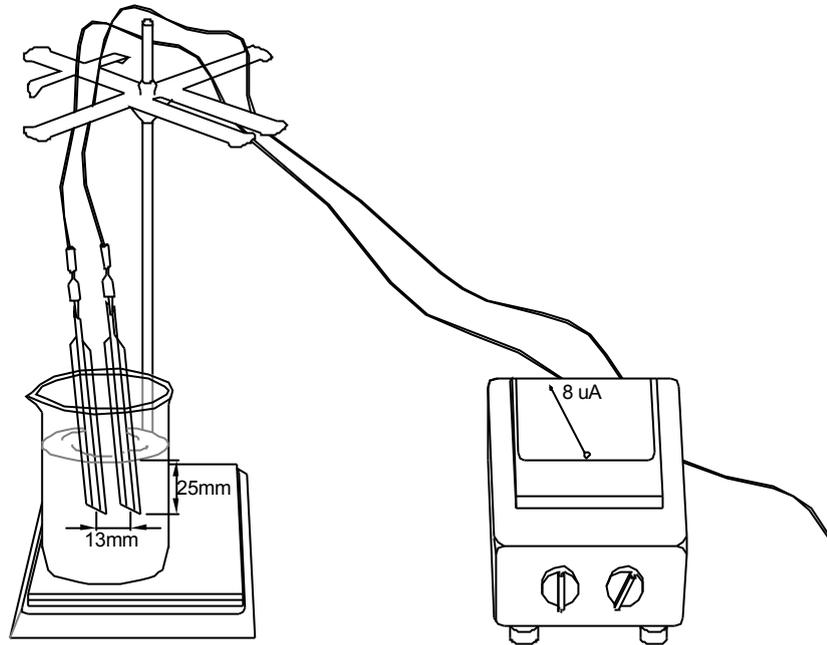


Figura 2.



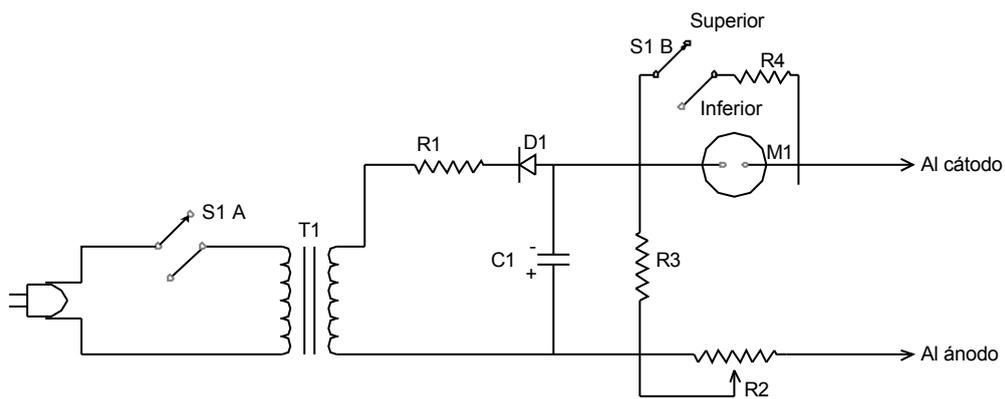
Nota: Dimensiones en mm.

Figura 1.



Nota: Envase de 150 a 250ml.

Figura 2.



- C1 - 500 uF 25-V Fuente de poder.
- D1 - Diodo silicio.
- R1 - 47 Ohm. 1-W resistencia.
- R2 - 5000 Ohm. Potenciómetro.
- R3 - 6800 Ohm. 1/4-W resistencia.
- R4 - Medidor desviador (determinado por el tipo de medidor usado).
- S1 - 2 polo, - 3 - rotor posición swit.
- T1 - 12,6 - V filamento transformador.
- M1 - 0 a 10-mA amperímetro.

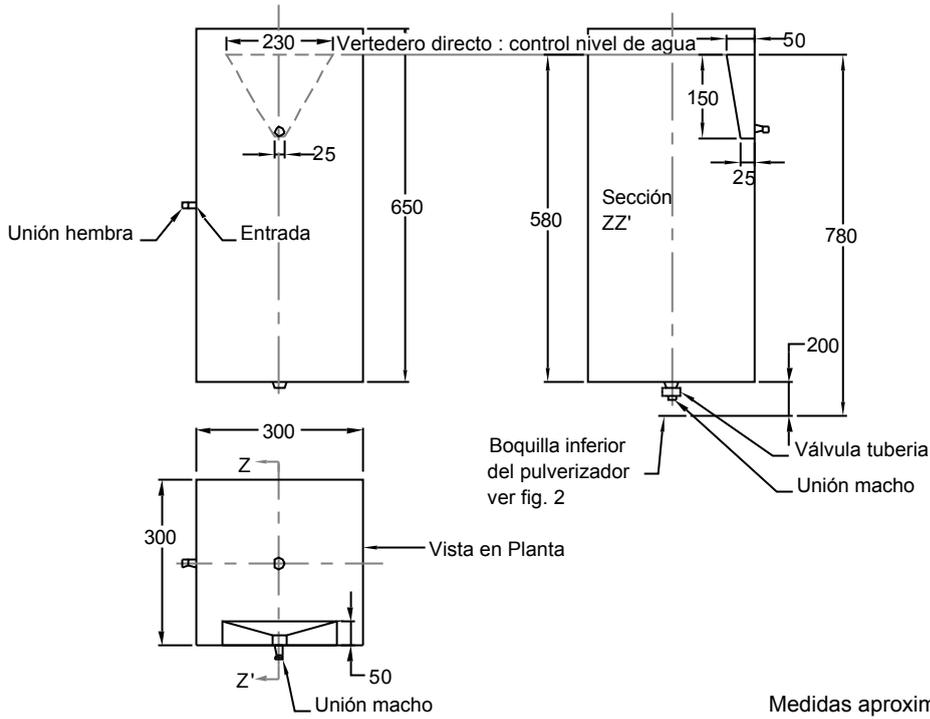


Figura 1.

Medidas aproximadas en mm.

Nota : Use una lámina de acero galvanizado para el tanque. Todas las juntas y conexiones deberán ser soldadas y deberán ser impermeables. Todos los acoplamientos deberán ser de bronce. La válvula de 20 mm deberá colocarse lo más cerca posible del fondo del estanque permitiendo un espacio para cerrar la válvula. El estanque deberá colocarse en un lugar adecuado, a una altura de 1 metro.

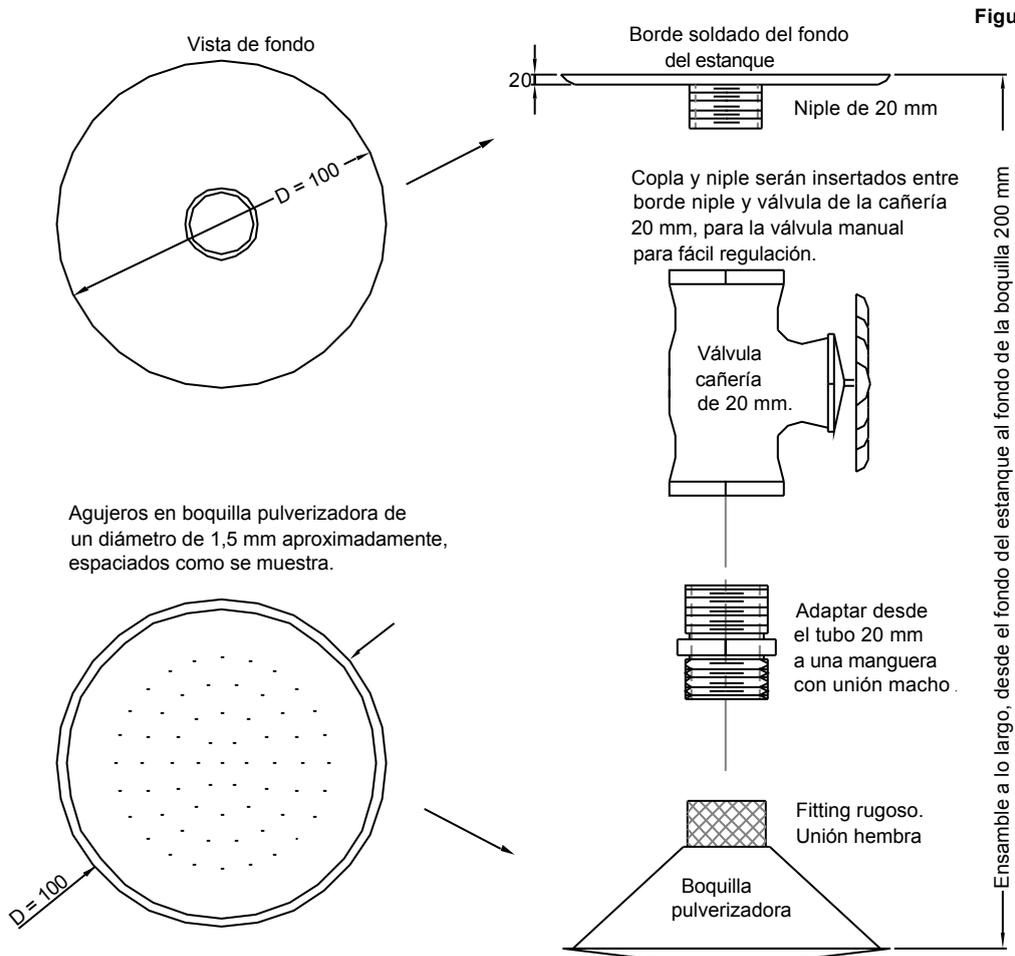


Figura 2.

Nota: Dimensiones en mm.

**8.302.6 (EN BLANCO)**

## 8.302.7 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE LA MANCHA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo. No debe aplicarse a asfaltos naturales que contengan materias no bituminosas insolubles en xileno.

A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivos, se le puede determinar su grado de positividad por medio del "equivalente de xileno". El equivalente de xileno será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, según se especifique, el que produce una mancha "negativa" para el material en cuestión. Éstos se conocen respectivamente como equivalente nafta xileno y heptano xileno. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla. Cuando no se especifique equivalente xileno, se usa solamente como solvente nafta normal.

\*El Método 8.302.7 es una adaptación de la norma AASHTO T 102 – 82.

### 2.- Reactivos

**2.1** La nafta normal es el producto del primer destilado libre de cualquier clase de productos craqueados y que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Gravedad	API 49 – 50
- Destilación:	
Punto de ebullición inicial	+ 149°C
50% sobre	168°C – 179°C
Punto final bajo	210°C
N° anilina	50 a 63°C

El N° anilina del solvente será determinado como se describe en la norma ASTM D611.

**2.2** Cuando se especifica el equivalente xileno, será químicamente puro, con un rango de temperaturas de ebullición entre 137°C – 140°C cuando destile de acuerdo con el método de la norma AASHTO T115, ensaye para destilación de gasolina, nafta, kerosene y productos similares del petróleo.

**2.3** El heptano normal debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- ASTM Motor Octane Number	0,0 ± 0,2
- Densidad a 20°C (g/ml)	0,68375 ± 0,00015
- Índice refracción Nd a 20°C	1,38775 ± 0,00015
- Punto de congelamiento (°C)	- 90,72 mínimo
- Destilación:	
50% recuperado (°C)	98,43 ± 0,05
Incremento de 20% a 80%	
Recuperado (°C)	0,20 máximo

**3.- Accesorios.** Los accesorios requeridos son los siguientes:

**3.1** Frascos de 50 ml de capacidad de cualquiera de los dos modelos: Florence de boca ancha y fondo plano o Soxhlet de aproximadamente 45 mm de diámetro por 60 mm de alto.

**3.2** Corcho para frasco provisto con un tubo de vidrio de 200 mm de largo por 6 mm de diámetro.

**3.3** Papel filtro cuantitativo de grano fino, velocidad de flujo lenta (Herzberg) 2.685 s, retención de partículas de 2,7 µm, cenizas inferior a 0,025%, peso 97 g/m<sup>2</sup>, grosor 0,12 mm, de 70 mm de diámetro.

**3.4** Placa de vidrio. Limpie una placa lisa de vidrio claro; primeramente, lave con jabón y agua, seque frotando, limpie con un limpia vidrio adecuado, seque frotando y deje libre de polvo e hilos. Después de este tratamiento de limpieza, aplique una gota de la mezcla de asfalto sobre el vidrio, déjelo fluir hasta que se forme una mancha elíptica. Si la mancha es dentada y de contorno quebrado, nuevamente limpie el vidrio con un limpia vidrio adecuado hasta que una gota de la mezcla de asfalto fluya sin las características descritas.

**3.5** Pipeta o bureta con 0,1 ml de graduación.

**3.6** Termómetro de precisión ASTM 64C, que cumpla con los requerimientos de la norma ASTM E1.

**4.- Muestra.** Para asfaltos sólidos o semisólidos, haga el ensaye al material original. Para asfaltos líquidos del tipo curado lento, que tengan menos de 15% de volumen destilado bajo 360°C según Método 8.302.4, Asfaltos: Método de Ensaye de Destilación de Asfaltos Cortados, el ensaye puede hacerse sobre el material original, excepto en casos de discusión, cuando se haya ejecutado en el residuo de la destilación especificado anteriormente. Para el resto de los asfaltos líquidos, el ensaye en todos los casos se ejecuta sobre el residuo proveniente de la destilación.

#### **5.- Procedimiento de Ensaye.**

**5.1** Pese una muestra de  $2 \pm 0,02$  g e introdúzcala en el frasco; si no fluye fácilmente a la temperatura ambiente, caliente cuidadosamente el frasco con la muestra, hasta que pueda extenderse en una película delgada que cubra el fondo del frasco; permita que enfríe a temperatura ambiente.

a) Con la pipeta o bureta introduzca en el frasco 10,2 ml del solvente especificado; ponga rápidamente el corcho con el tubo de 200 mm de largo, tome el frasco del cuello, y dé vueltas en forma de remolino, con un movimiento rápido durante 5 s. Introduzca lentamente el frasco en un baño de agua hirviendo por un lapso de 55 s (menos en el caso de una muestra de un líquido delgado, que no es necesario calentar).

b) Retire el frasco del baño y gírelo en su eje durante 5 s; introdúzcalo nuevamente por otros 55 s; repita el procedimiento minuto a minuto, hasta que obtenga la dispersión total, observada inclinando el frasco y girándolo.

**5.2** Una vez completa la dispersión, baje el tubo de vidrio hasta sumergirlo en la solución y déjelo enfriar durante 30 min a temperatura ambiente. La mezcla solvente asfalto se calienta por 15 min en un baño de agua y se mantiene a la temperatura de  $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; luego se agita completamente por medio de una varilla de vidrio limpia y con ésta se deja caer una gota de la mezcla caliente sobre el papel filtro especificado en el Punto 3.3. Después de 5 min, se examina la mancha caliente del papel con el brazo estirado, con el plano del papel aproximadamente en ángulo recto a la línea de visión y con una buena fuente de poder (luz día difusa) a la espalda del observador. Si la gota forma una mancha circular café o amarillo – café, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, el ensaye se reporta como positivo.

**5.3** Si, de cualquier modo, la gota forma una mancha circular uniforme café, el resultado deberá reservarse y la mezcla con solvente asfáltico dejarse a un lado en el frasco bien tapado y a temperatura ambiente con luz tenue, para ser reensayada 24 h después de su primer examen. La mezcla calentada a  $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 15 min como antes, debe ser vigorosamente agitada hasta que sea uniforme; coloque una gota nuevamente en el papel filtro. Si la gota de la mezcla de las 24 h aún forma una mancha circular café, el ensaye debe informarse como negativo, pero si un sólido oscuro o núcleo anular como el descrito en el párrafo anterior se forma en el centro de la mancha, el ensaye debe informarse como positivo.

#### **6.- Procedimiento en el Caso Discutible**

**6.1** En caso de discusión, el ensaye completo debe repetirse. Cualquier pérdida en la masa del solvente durante la dispersión debe completarse con solvente adicional y el frasco, después de la dispersión completa, debe mantenerse con luz tenue y a la temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 h, hasta efectuar el ensaye. Una gota de mezcla con solvente asfáltico calentada por 15 min a  $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  debe colocarse sobre el papel filtro y sobre la placa de vidrio. Si la aparición de la gota en el papel filtro, ya sea con la mezcla preparada fresca o con la de 24 h sigue en discusión, entonces el ensaye hecho en la placa de vidrio, de la manera que se especifica más abajo, será definitivo.

**6.2** La gota de la mezcla de 24 h debe colocarse sobre la placa de vidrio manteniéndola en un ángulo de 45° sobre la horizontal. Si a medida que la gota fluye, ésta desarrolla en el centro de su trayectoria una línea mate sin punta, el exterior de la cual está bien definida contra lo suave, limpio y café lustroso de la zona exterior, cuando el vidrio se examina por luz reflejada contra un fondo oscuro, el ensaye debe informarse como positivo.

**6.3** Si una gota de la mezcla de las 24 h fluye uniformemente en una película café lustrosa y limpia, sin la línea central que se describió en el párrafo anterior, el ensaye se informará como negativo.

## **7.- Equivalente de Xileno.**

**7.1** Cuando el método usado es por “equivalente de xileno”, el ensaye es el mismo especificado antes, excepto que el solvente deberá estar compuesto ya sea por xileno y la nafta normal o por xileno y un heptano normal, según se especifique.

**7.2** Para determinar el xileno equivalente, dos o más muestras del asfalto por examinar deben dispersarse en la mezcla del solvente prescrito. El porcentaje de xileno se hace variar mediante incrementos sucesivos de 5% en volumen con respecto de la mezcla, hasta que se encuentren dos soluciones con asfalto, una de las cuales muestre una mancha positiva, mientras que la siguiente (en la cual el solvente contenga 5% más de xileno) muestre una mancha negativa. El xileno equivalente puede informarse como el porcentaje de xileno en los dos solventes usados en estas dos soluciones, por ejemplo: 10 – 15% de nafta xileno equivalente ó 20% – 25% heptano xileno equivalente, según sea el caso.

**7.3** Cuando la aceptación de un material se basa en el xileno equivalente especificado, el porcentaje más bajo exacto de xileno que produce una mancha negativa no necesita determinarse. La muestra puede ensayarse con solvente compuesto de los porcentajes especificados de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, según se requiera, y cualquier material que muestre mancha negativa para este solvente debe informarse como menor que el xileno equivalente particular para el cual ha sido diseñado, por ejemplo: menor que 20% de nafta xileno equivalente o menor que 35% heptano xileno equivalente.



## 8.302.8 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 3, se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm 5\%$ . Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

\*El Método 8.302.8 es una adaptación de la norma AASHTO T 51.

### 2.- Referencias.

Son aplicables las siguientes normas ASTM:

- Norma ASTM C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.
- Norma ASTM D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials.
- Norma ASTM D 1754 Test Method for Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials ( Thin-Film Oven Test).
- Norma ASTM D 2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt ( Rolling Thin Film Oven Test ).
- Norma ASTM E 1 Specification for ASTM Thermometers.
- Norma ASTM E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Moldes.** El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en la Lámina 8.302.8.A; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

- A : Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm.
- B : Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.
- C : Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.
- D : Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.
- E : Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.
- F : Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.
- G : Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.
- H : Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.
- I : Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.
- J : Espesor: 9,9 a 10,1 mm

**3.2 Baño de Agua.** Mantenga el baño a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de  $\pm 0,1$  °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor que 10 cm y apóyela sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm del fondo del baño.

**3.3 Ductilímetro.** Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especifica en 4.3, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termostático para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 4.4.

**3.4 Termómetros.** El termómetro por utilizar será ASTM 63 C con un rango de temperatura entre  $-8$  y  $32$  °C; debe cumplir los requerimientos descritos en la norma ASTM E1.

#### 4.- Procedimiento de Ensaye.

**4.1 Preparación del Molde.** Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (Lámina 8.302.8.A) con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

**4.2 Moldeo de las Muestras para el Ensaye.** Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamice la muestra fundida a través del tamiz N° 50 conforme a la norma ASTM E 11; Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; vierta con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y luego coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensaye especificada por 30 min. Luego recorte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

**Nota 1:** Como desmoldante se puede usar vaselina, silicona u otros.

**4.3 Conservación de las Muestras a la Temperatura de Ensaye.** Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min a la temperatura especificada; luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

**4.4 Ensaye.** Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de  $\pm 5\%$  para la velocidad especificada. Mida la distancia en cm entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensaye, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos 2,5 cm y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de  $\pm 0,5$  °C.

#### 5.- Informe.

**5.1** Un ensaye normal es aquél en el cual el material entre los dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Se informará el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura de ensaye.

**5.2** Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensaye no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensaye.

**5.3** Si no se obtiene un ensaye normal en tres ensayos sucesivos en iguales condiciones, informe la ductilidad como "no obtenible" bajo esas condiciones de ensaye.

Figura 1.

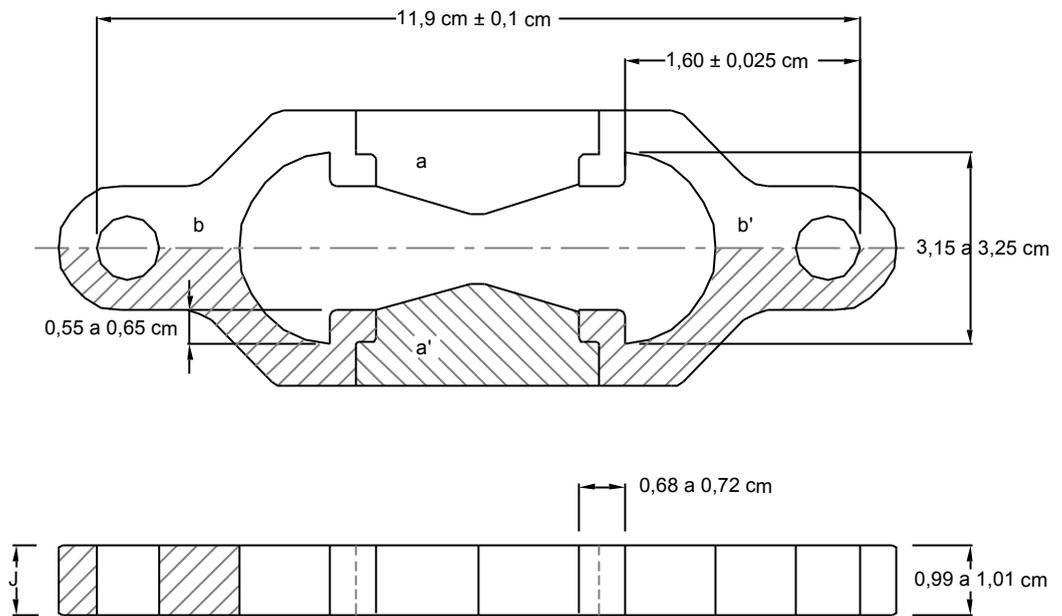
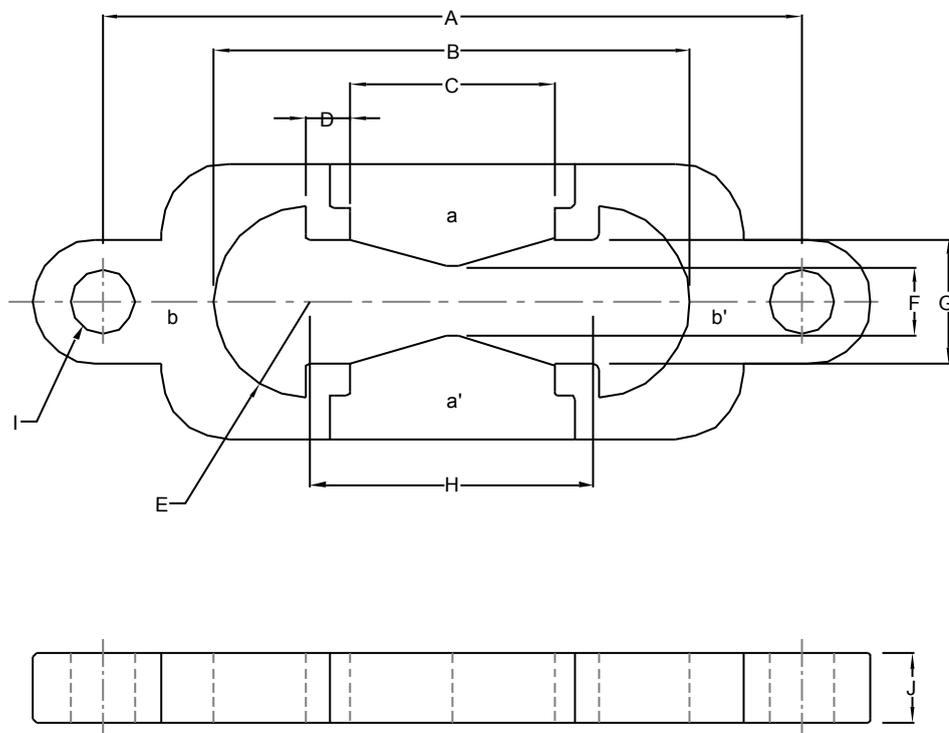


Figura 2.





## 8.302.9 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACION Y COMBUSTION MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** El método define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este método de ensaye.

**Nota 1:** Emplee el método del Punto de Inflamación mediante la Copa Abierta Tag (Método 8.302.10) si el Punto de Inflamación está por debajo de 79°C.

\*El Método 8.302.9 es una adaptación de la Norma AASHTO T48.

**2.- Descripción del Método.** La copa de ensaye se llena con la muestra hasta el nivel especificado; la temperatura de la muestra va aumentando rápidamente primero y luego más lento, a una razón constante a medida que se aproxima al Punto de Inflamación. A intervalos especificados, una pequeña llama de prueba se pasa a través de la copa; la menor temperatura, a la cual la aplicación de la llama causa la inflamación de vapores por encima de la superficie del líquido, es el Punto de Inflamación. Para determinar el Punto de Combustión, el ensaye se continúa hasta que la aplicación de la llama causa la inflamación del asfalto o aceite y lo quema por lo menos 5 s.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Copa Abierta de Cleveland.** Consiste en una copa de ensaye, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos como se describe en detalle en el Anexo. Una forma de armar el aparato, la placa de calentamiento y la copa, es como se ilustra en las Láminas 8.302.9.A y 8.302.9.B, respectivamente.

**3.2 Protector.** Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.

**3.3 Termómetro.** Un termómetro que tenga un rango de -6 a 400°C y cumpla con los requisitos del 11c ó 28c de ASTM E1.

**Nota 2:** Hay equipos para Punto de Inflamación automáticos, que son ventajosos por la economía en el tiempo de ensaye, porque permiten el uso de muestras pequeñas y tienen otros factores que los hacen recomendables. Al usarlos se debe asegurar que todas las instrucciones del fabricante para calibración, ajustes y operaciones del instrumento se respeten. En casos de duda el Punto de Inflamación debe determinarse manualmente y se considerará como ensaye patrón.

### 4.- Preparación del Aparato.

**4.1** Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación. Ensayes en campanas de laboratorio (Nota 3) o en lugares donde no existan corrientes de aire son confiables.

**Nota 3:** Con algunas muestras, cuyos vapores o productos de la pirólisis son objetables, es permisible colocar el aparato con un protector en una campana ajustando el flujo de aire de modo que los vapores se puedan sacar sin causar corrientes de aire sobre la copa de ensaye durante los últimos 55°C previo al Punto de Inflamación.

**4.2** Lave la copa de ensaye con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.

**4.3** Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa (con la tolerancia mostrada en la Lámina 8.302.9.A) y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.

## **5.- Procedimiento de Ensaye.**

**5.1** Llene la copa a una temperatura conveniente (Nota 4), no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado (Anexo A7). Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestra que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra (Nota 5).

**Nota 4:** Las mezclas viscosas deben calentarse hasta que estén razonablemente fluidas antes de ser vertidas dentro de la copa. Para el cemento asfáltico la temperatura durante el calentamiento no debe exceder de 110°C por encima del Punto de Ablandamiento esperado. Cuidados extremos se deben tener con los asfaltos líquidos, los que deben calentarse solamente a una temperatura mucho menor a la que pueden ser vertidos.

**Nota 5:** La copa puede llenarse fuera del aparato, incorporando el termómetro y una vez colocada la copa con la muestra en el aparato, se corrige el nivel antes de empezar el ensaye. Se usa una cuña de 6,5 mm de espesor para obtener la distancia correcta desde el extremo inferior del bulbo al fondo de la copa.

**5.2** La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.

**5.3** Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuya el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por min.

**5.4** Comenzando, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulos rectos al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm.

El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 s. Durante los últimos 17°C, suba la temperatura previo al Punto de Inflamación. Evite alteraciones del vapor en la copa de ensaye poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.

**5.5** Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.

**5.6** Para determinar el Punto de Combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2°C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 s. Informe la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

**6.- Corrección por Presión Barométrica.** Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensaye es menor que 715 mm de mercurio, informe y sume la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la tabla siguiente:

**TABLA 8.302.9.A**  
**VALORES DE CORRECCION DEL**  
**PUNTO DE INFLAMACION Y PUNTO DECOMBUSTION**

<b>Presión Barométrica (mm de mercurio)</b>	<b>Corrección (°C)</b>
715 – 665	2
664 – 610	4
609 – 550	6

## 7.- Cálculos e Informes.

7.1 Corrija el Punto de Inflamación o el Punto de Combustión o ambos, observados, de acuerdo con 6.

7.2 Informe la corrección del Punto de Inflamación o Punto de Combustión o ambos, como el Punto de Inflamación o Combustión de la Copa Abierta de Cleveland.

8.- **Precisión.** Use los siguientes datos para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% confianza).

8.1 **Repetibilidad.** Resultados duplicados por el mismo operador serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

	Repetibilidad
Punto Inflamación	8°C
Punto Combustión	8°C

8.2 **Reproducibilidad.** Los resultados presentados por cada laboratorio, serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

	Reproducibilidad
Punto Inflamación	16°C
Punto Combustión	14°C

## ANEXO

### Aparatos

El ensayador abierto de Cleveland consiste en una copa de ensaye, una placa de calentamiento, un aplicador a la llama de prueba, un calentador, un termómetro con soporte y un soporte de la placa de calentamiento, todo conforme con los siguientes requerimientos:

**A1.** Copa de ensaye de bronce conforme a las dimensiones indicadas en la Lámina 8.302.9 B Figura 2. La copa puede estar equipada con un mango.

**A2.** Placa de calentamiento de bronce, fierro fundido, fierro forjado o una placa de acero con un hueco central circundando por un área de depresión plana y una plancha acartonada, que cubra la placa de metal excepto el área sobre el plano de depresión en la cual la copa de ensaye se apoya. Las dimensiones esenciales de la placa de calentamiento se indican en la Lámina 8.302.9 B Figura 1. Sin embargo, ésta puede ser cuadrada en vez de circular y el metal de la placa puede tener extensiones adecuadas para apoyar el aparato de la llama de prueba y el apoyo del termómetro.

El cabezal metálico que se menciona en el párrafo A3 debe apoyarse sobre la placa de modo que se extienda ligeramente y por encima de un orificio pequeño y apropiado en la plancha acartonada.

**Nota 6:** La plancha acartonada que cubre la placa caliente puede sobresalir del borde de ésta para reducir corrientes de aire alrededor de la copa.

**A3.** Aplicador de la llama de prueba. El aparato para aplicar la llama de prueba puede ser de cualquier diseño adecuado, pero la punta debe tener un diámetro aproximado de 1,6 mm al final y el diámetro del orificio debe ser de aproximadamente de 0,8 mm. El aparato para aplicar la llama estará apoyado para permitir que se duplique el recorrido de la llama de prueba, siendo el radio de oscilación no menor que 150 mm y el centro del orificio moviéndose en un plano ubicado a una altura no mayor de 2 mm por encima del borde de la copa. Un cabezal con un diámetro de 1,3 a 5,0 mm puede colocarse en una posición conveniente sobre el aparato, de manera que el tamaño de la llama pueda ser comparado con éste.

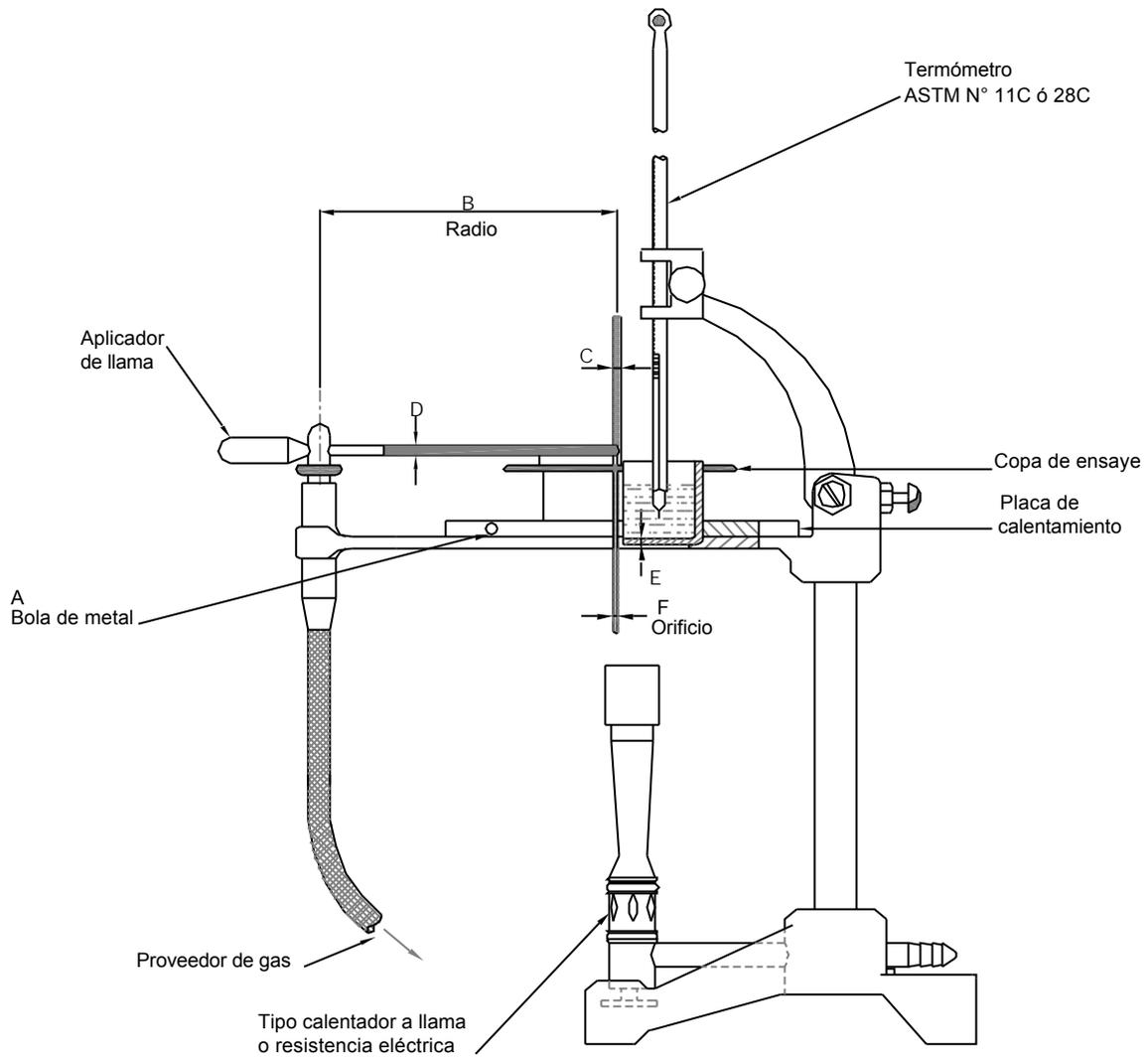
**A4.** Calentador. El calentador puede ser sustituido por cualquier fuente conveniente. El uso de un quemador a gas o una lámpara a alcohol está permitido, pero bajo ninguna circunstancia debe usarse llama para productos altamente combustibles. Es preferible que el calentador lo controle un transformador de voltaje variable. La fuente de calor será centrada bajo la abertura de la placa caliente evitando calentamientos locales.

El calentador de la llama tipo debe protegerse de las corrientes de aire o excesiva radiación por cualquier tipo de protector adecuado, por encima del nivel superficial más alto de la plancha acartonada.

**A5.** Apoyo del termómetro. Cualquier aparato conveniente puede ser usado para que mantenga el termómetro en la posición especificada durante el ensaye y permita quitarlo con facilidad de la copa una vez terminado el ensaye.

**A6.** Apoyo de la placa de calentamiento. Cualquier apoyo conveniente que mantenga la placa caliente, estable y nivelada.

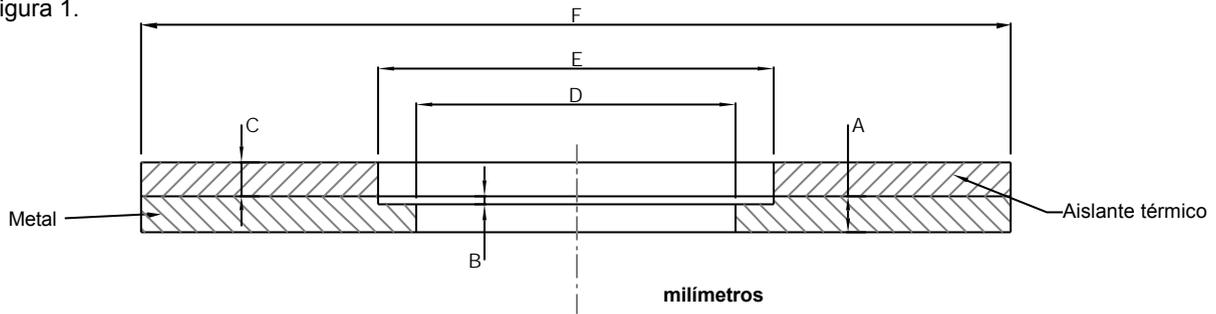
**A7.** Medidor del nivel de llenado. Un aparato que ayude en la regulación exacta del nivel de la muestra en la copa. Puede hacerse con un metal adecuado con al menos un resalte, pero de preferencia dos para ajustar el nivel de la muestra en la copa de ensaye entre 9 a 10 mm por debajo del ribete superior de la copa. Estará provisto de un orificio de 0,8 mm de diámetro ubicado al centro del medidor a no más de 2 mm del fondo, que se usará para verificar la posición central del orificio del aplicador de la llama con respecto al borde de la copa. (La lámina 8.302.9 B Figura 3, muestra una versión adecuada).



milímetros

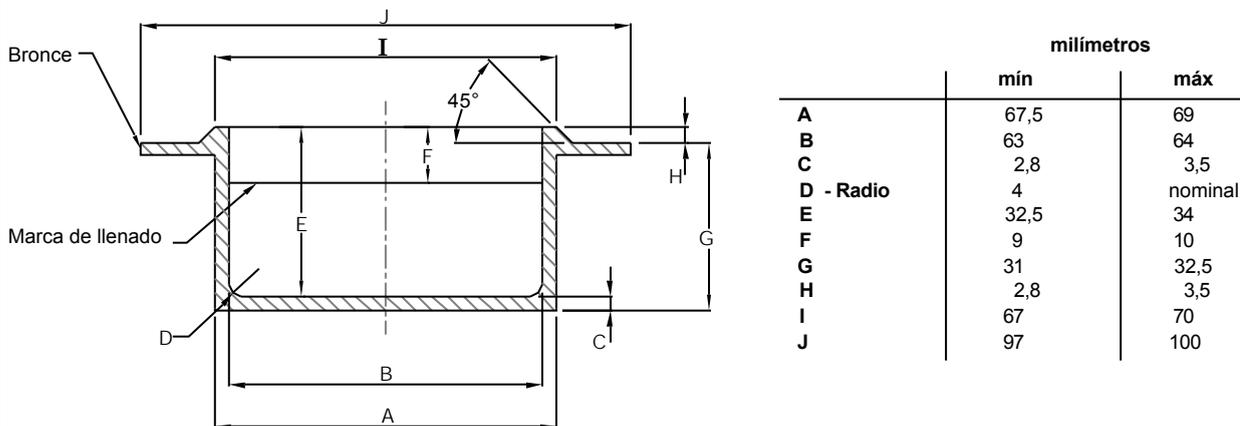
	mín	máx
A - diámetro	3,2	4,8
B - radio	152	nominal
C - diámetro	1,6	nominal
D		2
E	6	7
F - diámetro	0,8	nominal

Figura 1.



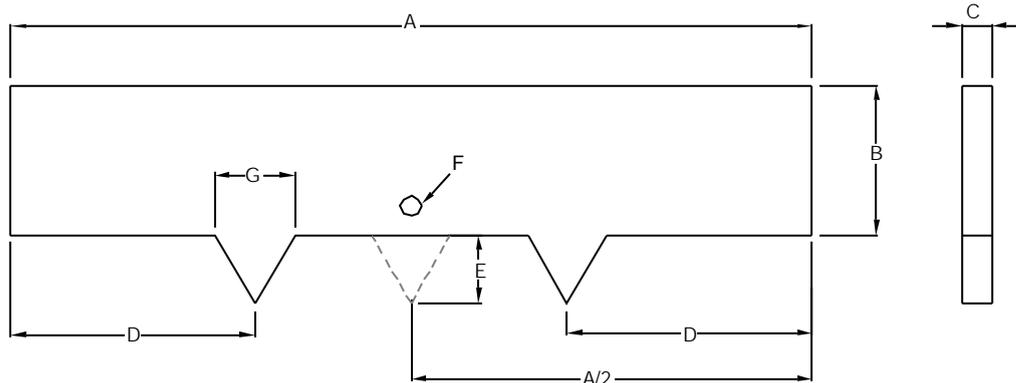
	mín	máx
A	6	7
B	0,5	1,0
C	6	7
D - Diámetro	55	56
E - Diámetro	69,5	70,5
F - Diámetro	146	159

Figura 2.



	mín	máx
A	67,5	69
B	63	64
C	2,8	3,5
D - Radio	4	nominal
E	32,5	34
F	9	10
G	31	32,5
H	2,8	3,5
I	67	70
J	97	100

Figura 3.



milímetros

	mín	máx
A	101,6	Nominal
B	19	Nominal
C	3,2	Nominal
D	32	Nominal
E	9-10	Nominal
F	0,8 DIÁM.	Nominal
G	(2,5 mm sobre borde inferior)	(Máximo)
	9,5	Nominal

## **8.302.10 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACION MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define el procedimiento para determinar el punto de inflamación por el aparato Copa Abierta Tag, de asfaltos cortados que tienen punto de inflamación menores que 93°C.

**Nota 1:** Las especificaciones prescriben comúnmente el método de la copa abierta Cleveland para cementos asfálticos y asfaltos cortados que tienen punto de inflamación sobre 80°C.

\*El Método 8.302.10 es una adaptación de la norma AASHTO T 79 – 80.

**2.- Resumen del Método.** La muestra se coloca en el ensayador y se calienta a velocidad lenta y constante. Una pequeña llama de ensaye se pasa a velocidad uniforme a través de un plano a nivel de la copa y a intervalos especificados. El punto de inflamación es la menor temperatura a la cual la aplicación de la llama de ensaye provoca un destello de los vapores en la superficie del líquido.

### **3.- Aparatos.**

**3.1 Ensayador Copa Abierta Tag.** Este aparato consiste en una copa de ensaye de vidrio, baño de agua de cobre, portatermómetro, pequeño mechero a gas, cerilla de inflamación, aparato de nivelación con líquido y protector de corriente de aire. Se describe en detalle en el Anexo.

**3.2 Termómetro.** Debe usar un Pensky Martens, termómetro de rango bajo de - 5 a 100°C y que cumpla con los requisitos para termómetros 9 C que prescribe la norma ASTM E1.

### **4.- Baños.**

**4.1** Agua para puntos de inflamación hasta 80°C.

**4.2** Solución 1:1 de agua y glicol para puntos de inflamación sobre 80°C.

### **5.- Preparación del Aparato.**

**5.1** Coloque el ensayador Copa Abierta Tag en posición nivelada y firme, en una mesa sólida libre de vibraciones; en la posición no deben haber corrientes de aire perceptibles y el tope del ensayador debe estar provisto de una ventana de vidrio resistente, tal que el destello pueda ser visto fácilmente. La temperatura de la sala de  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  debe mantenerse durante todo el ensaye.

**5.2** Ajuste las posiciones horizontal y vertical de la cerilla de inflamación, tal que el caño de salida pase por la circunferencia de un círculo que tenga un radio de 152 mm y en un plano nivelado a 3 mm por sobre el borde superior de la copa medido desde el centro del orificio; el caño de salida deberá pasar por el centro de la copa. Haga estos ajustes solamente cuando sea necesario, ya que generalmente se usa continuamente para una serie de ensayes.

**Nota 2:** El aparato nivelador se usa como un calibrador de la altura de la cerilla.

**5.3** Coloque el protector de corriente de aire alrededor de la copa tal que los lados formen ángulo recto unos con otros y el ensayador esté bien al fondo del protector.

### **6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** Coloque la copa de ensaye de vidrio en el baño metálico y ajuste el portatermómetro de modo que el termómetro quede firmemente afianzado en posición vertical y equidistante entre el borde y centro de la

copa, y en una línea que pase a través del centro de la copa y el centro de rotación de la cerilla. Coloque el termómetro de modo que el fondo del bulbo esté 6,0 mm por sobre el fondo interior de la copa.

**6.2** Llene el baño metálico con agua, o con la solución agua – glicol, que tenga una temperatura al menos 16°C bajo el probable punto de inflamación del material a ser ensayado. Conectar un serpentín enfriador de agua es conveniente en muchos casos, cuando se usa agua en el baño y debe ser introducido al interior de la cámara entre el baño y la copa con muestra, hasta que un leve derrame se note en el conducto de rebalse. Llene el baño a un nivel aproximado de 3 mm del tope cuando la copa de ensaye esté colocada.

**6.3** Apoye el aparato nivelador metálico sobre el borde de la copa y llene la copa con el material a ser ensayado hasta que el nivel toque justo las puntas del nivelador (éstas estarán aproximadamente 3 mm bajo el borde de la copa).

**Nota 3:** La muestra de ensaye debe estar al menos 10°C bajo el punto de inflamación esperado.

**6.4** Encienda la cerilla de inflamación y ajuste la llama de ensaye, aproximadamente al mismo tamaño de la bolita de comparación o el orificio de referencia en el aparato nivelador, pero en ningún caso mayor que 4 mm.

**6.5** Aplique calor al baño de manera que la temperatura de la muestra suba a una velocidad de  $1 \pm 0,5^\circ\text{C}$  por min.

**6.6** Comience al menos 10°C bajo el punto de inflamación esperado, ajustando al nivel de la muestra en la copa de ensaye (una jeringa o un cuentagotas medicinal es un medio adecuado para agregar o quitar muestra de la copa), y en intervalos sucesivos de 1°C pase la cerilla de inflamación a través de la muestra en un movimiento continuo, de manera que el tiempo que demore cada pasada sea de 1 s. Cada pasada debe hacerse solamente en una sola dirección y la cerilla debe permanecer en la posición “off” al comienzo o fin de la oscilación, excepto cuando la llama se aplica a la muestra.

**6.7** Informe como punto de inflamación la temperatura leída en el termómetro en el momento en que la llama de ensaye provoca un destello claro en el interior de la copa.

## 7.- Informe.

Informe el Punto de Inflamación de la copa abierta Tag como la menor temperatura, en grados Celcius, al notar el primer destello o destello inicial.

## ANEXO

### Aparatos

El ensayador Copa Abierta Tag se muestra en la Lámina 8.302.10.A. consiste de las siguientes partes, las que deben cumplir las dimensiones mostradas y tener características adicionales anotadas:

**A.1** Baño de Cobre, equipado con un reflujo de nivel constante para mantener el nivel del líquido en el baño, 3 mm bajo los lomos de la copa de vidrio.

**A.2** Portatermómetro, suministrado con el ensayador como se muestra en la Lámina 8.302.10.A. Debe soportar firmemente el termómetro en posición vertical.

**A.3** Copa de ensaye de vidrio (Lámina 8.302.10.B, Figura 1), moldeada en vidrio transparente, templado, resistente al calor, y libre de defectos superficiales.

**A.4** Medidor de líquido de llenado, para ajustar convenientemente el líquido en la copa (Lámina 8.302.10. B, Figura 2). Confeccionado de un metal adecuado de al menos 3 mm de espesor, con dos puntas para ajustar el nivel en la copa de vidrio a 3 mm bajo el tope de la orilla o borde de la copa. También los orificios

del aparato nivelador pueden usarse para ajustar el tamaño de la llama de ensaye o para medir la altura de la cerilla sobre el borde de la copa.

**A.5** Mechero pequeño a gas, de dimensiones adecuadas para calentar el baño. Una abrazadera ajustable puede emplearse para ayudar a regular el gas. También puede usarse un calentador eléctrico pequeño, controlado con transformador de voltaje variable.

**A.6** Cerilla de inflamación, pequeña, recta, tubo de metal fundido tipo mechero a gas. El extremo de la cerilla debe tener aproximadamente 1,5 mm de diámetro. La llama de inflamación debe mantenerse en plano horizontal fijo por sobre la copa de ensaye, mediante giros del aparato tal que la llama de ensaye pase sobre la circunferencia de un círculo que tiene un radio de al menos 150 mm. Una bolita de 4,0 mm de diámetro puede colocarse en un lugar adecuado para comparación.

**A.7** Protector de Corrientes de Aire; el aparato debe estar protegido de las corrientes de aire por una campana libre de corrientes de aire y emanaciones o un protector adecuado. El protector puede consistir en dos láminas rectangulares de material no combustible, de 610 x 710 mm, fijas por el lado de 710 mm, preferentemente mediante bisagras. Una lámina triangular de 610 x 610 x 860 mm se fija con bisagras a un lado de las láminas para formar una capota cuando el protector se abre. El interior del protector debe pintarse parejo negro.

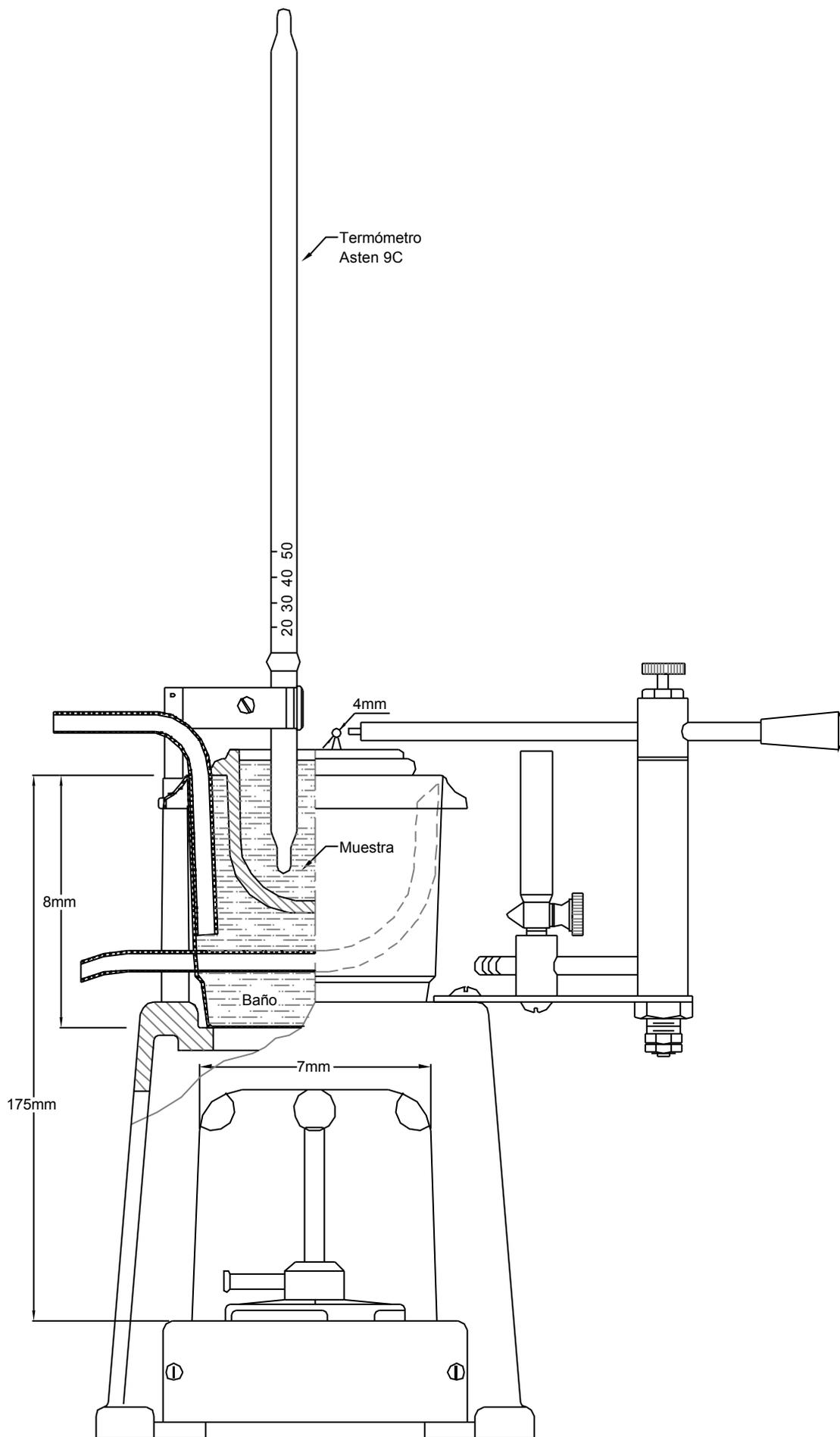
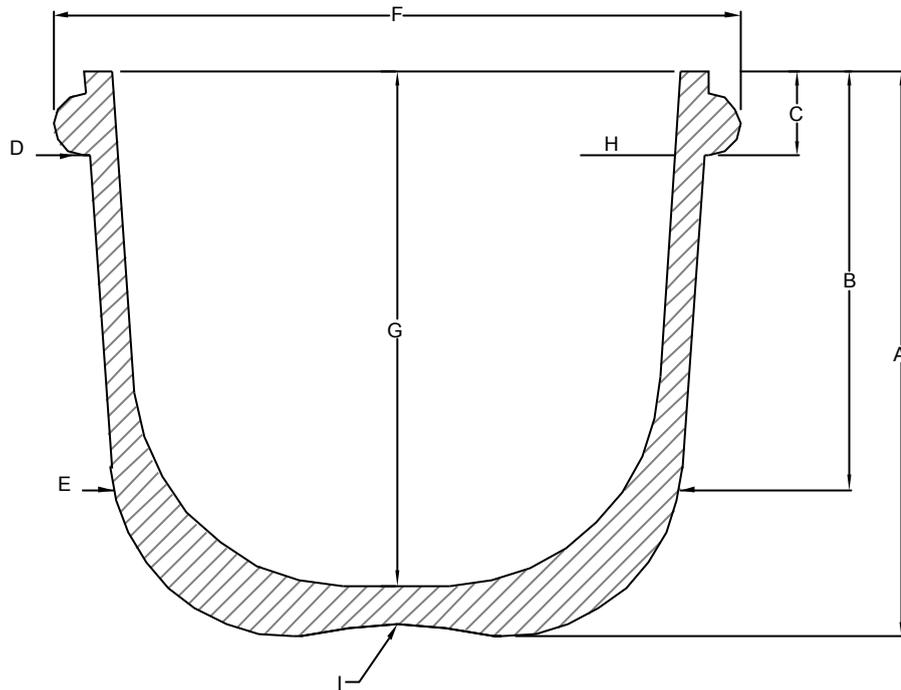


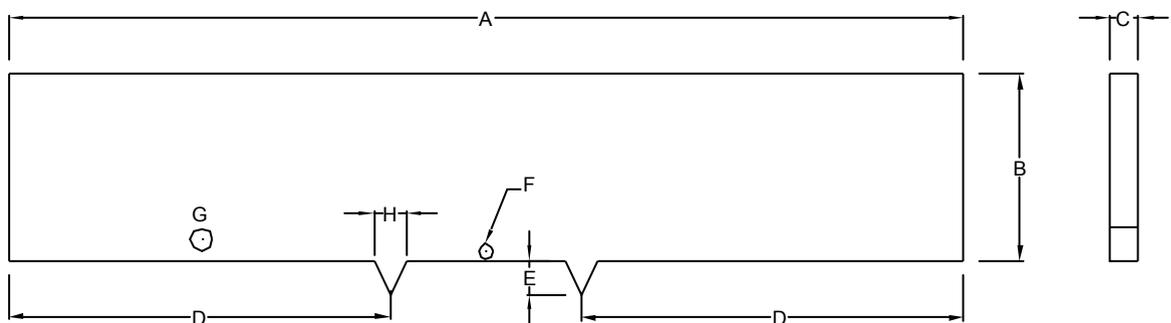
Figura 1.



A	51,6mm ±1,60
B	38,1mm ±1,60
C	7,9mm ± 0,80
D - Diámetro exterior	55,1mm ±1,90
E - Diámetro exterior	50,8mm ±1,60
F - Aproximado	59,5mm
G	47,6mm
H	2,4mm ±0,40
I - Depresión - Diámetro de la profundidad	15,9mm
Profundidad	0,8mm

El peso total no debe exceder de 95 g.

Figura 2.



A	127mm
B	25mm
C	3mm
D	51mm
E	3,18mm ±0,25
F - Diámetro 0,8 centrado a 3 mm de la cima y a 63,5 mm del extremo	
G - Diámetro 4 máximo, centrado a 3 mm de la cima y a 25 mm del extremo	
H	3mm



## 8.302.11 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGÁNICOS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método de ensaye se aplica para determinar el grado de solubilidad en solventes orgánicos de materiales bituminosos usados en caminos, tales como alquitrán y asfalto de petróleo, tengan o no una pequeña cantidad de materia mineral.

\*El Método 8.302.11 es una adaptación de la norma AASHTO T 44 – 78.

**2.- Resumen del Método.** La muestra se disuelve en un solvente específico y se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio u otro material adecuado. El material insoluble se lava, seca y pesa.

### 3.- Aparatos y Materiales.

**3.1 Filtrado.** Es conveniente filtrar al vacío con el crisol Gooch, tal como muestra la Lámina 8.302.11 A y cuyos componentes son:

- a) Frasco de pared gruesa, de unos 250 ml o más de capacidad (Erlenmeyer).
- b) Tubo filtrador de 40 mm a 42 mm de diámetro interno.
- c) Manguera o adaptador para sostener el crisol Gooch sobre el tubo filtrador.

**3.2 Crisol Gooch.** Vidreado interior y exteriormente, con excepción de la superficie del fondo. Las dimensiones aproximadas deben ser: diámetro de 45 mm en la superficie y 35 mm en el fondo y una profundidad de 30 mm.

**3.3 Soporte de fibra de vidrio.** De 32 mm, 35 mm ó 37 mm de diámetro.

**3.4 Balanza Analítica:** Clase A conforme a AASHTO M231.

**3.5 Desecador.** De tamaño adecuado, cargado con un desecante efectivo, tal como el Cloruro de Calcio.

**3.6 Horno.** Capaz de mantener la temperatura a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### 4.- Solventes.

**4.1** Utilice un solvente especificado. Son solventes adecuados para usar en este método los siguientes:

- a) Tricloroetileno ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ) grado reactivo p.a. Este solvente no es inflamable, se aplica al asfalto de petróleo como un sustituto del tetracloruro de carbono para determinar el grado de solubilidad, pero no es aplicable a alquitranes o productos del petróleo altamente craqueados. Es menos tóxico que el tetracloruro de carbono.
- b) Tricloroetano ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ) grado reactivo

**5.- Medidas de Seguridad.** Todos los solventes orgánicos son tóxicos en algún grado, por lo que se debe estar provisto de muy buena ventilación en todos los casos. El tetracloruro y el tricloroetano en presencia de calor forman ácidos altamente corrosivos.

Como medidas de seguridad, se deben utilizar delantal de protección, zapatos de seguridad, protección ocular, guantes resistentes a los solventes, máscara de protección respiratoria con filtro para vapores orgánicos y elementos para controlar derrames, además de contar con extintores tipo ABC y letrero con información de emergencia.

Las medidas citadas no pretenden señalar todos los problemas de seguridad asociados con el uso de solventes. Es responsabilidad del laboratorio y su personal establecer la seguridad apropiada y las prácticas de salud, antes de su uso.

## 6.- Preparación del Crisol Gooch

**6.1** Agite totalmente una porción de fibra de vidrio en agua destilada, de modo de formar una película en suspensión en la que las fibras estén dispersas.

**6.2** Ensamble el aparato de filtrado como se indica en Lámina 8.302.11.A. Llene el crisol con parte de la suspensión de fibra en agua y permita que sedimente en el crisol.

Aplique una leve succión para sacar el agua, dejando una pequeña capa de fibra en el fondo del crisol; agregue más fibra suspendida y repita el proceso hasta que la capa lograda pese  $0,5 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$  (véase la Nota 1) después de la ignición (inflamación). Lave la capa de fibra totalmente con agua y seque en un horno o en una mufla entre  $600^{\circ}\text{C}$  y  $650^{\circ}\text{C}$ . Enfríe el crisol en un desecador y pese aproximando a  $0,1 \text{ mg}$ ; repita la ignición y enfríe hasta que se obtenga masa constante ( $\pm 0,3 \text{ mg}$ ), guarde en un desecador hasta que esté listo para ser usado.

**7.- Temperatura del Ensaye.** Normalmente, la temperatura a la que se realiza el ensaye no es crítica; puede realizarse a temperatura ambiente de la sala. Sin embargo, para ensayos de arbitraje, el frasco y la muestra en solución deben colocarse en un baño de agua mantenido a  $38^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por una hora antes de filtrar.

## 8.- Procedimiento de Ensaye

**8.1** Tenga en cuenta las medidas de precaución indicadas en el Punto 5. Transfiera aproximadamente  $2 \text{ g}$  de la muestra en un matraz Erlenmeyer de  $125 \text{ ml}$ , tarado, u otro recipiente adecuado; pese con precisión aproximando al  $\text{mg}$  y agregue  $100 \text{ ml}$  del solvente especificado al recipiente en porciones pequeñas. Agite continuamente hasta que los grumos desaparezcan y no queden partículas de la muestra no disueltas adheridas al recipiente. Tape el frasco o cubra el recipiente y deje reposar por lo menos  $15 \text{ min}$ .

**8.2** Coloque lo preparado anteriormente en el tubo de filtro y pese el crisol Gooch. Humedezca la capa de fibra con una pequeña porción de solvente limpio y decante la solución a través de la capa de discos de filtro de fibra de vidrio de  $25 \text{ mm}$  de diámetro en el crisol, sin o con una leve succión, si fuere necesaria. Cuando la materia insoluble sea apreciable, retenga tanto como sea posible en el recipiente, hasta que la solución drene a través de la capa. Lave el recipiente con una pequeña cantidad de solvente, y con un chorro de éste desde la botella de lavado, transfiera todo el material insoluble al crisol. Use una varilla, si fuere necesario, para remover cualquier materia insoluble adherida a las paredes. Lave la varilla y el recipiente totalmente, lave la materia insoluble en el crisol con solvente, hasta que el filtrado sea realmente incoloro. Entonces, aplique una fuerte succión para sacar el solvente remanente.

Saque el crisol del frasco, lave el fondo libre de cualquier material disuelto y coloque el crisol en la parte superior de un horno o en un baño de vapor, hasta que todo olor de solvente haya desaparecido. Colóquelo en un horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por lo menos durante  $20 \text{ min}$ ; enfríelo en un desecador y pese. Repita el secado y pesado, hasta obtener masa constante ( $\pm 0,3 \text{ mg}$ ) [véase la Nota 1]. Excepto para ensayos de arbitraje, pueden emplearse crisoles usados.

**Nota 1:** En orden a obtener resultados precisos cuando se usen materiales de fibra de vidrio, el tiempo de enfriamiento en el desecador debe ser aproximadamente el mismo, dentro de  $\pm 5 \text{ min}$ , después del calentamiento. Por ejemplo, si un crisol vacío se pesa después de  $30 \text{ min}$  de enfriado en el desecador, el crisol conteniendo material insoluble debe ser pesado después de  $30 \pm 5 \text{ min}$  de enfriado en el desecador. Crisoles vacíos o conteniendo material insoluble, que han permanecido toda una noche en el desecador, deben recalentarse en un horno por lo menos  $30 \text{ min}$ ; luego, se enfriará antes de pesarlo.

**9.- Cálculos e Informe.** Calcule, ya sea el porcentaje total de materia insoluble o el porcentaje de materia soluble en el solvente como sigue:

$$\text{Insoluble, \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

$$\text{Soluble, \%} = 100 - \left( \frac{A}{B} \times 100 \right)$$

donde:

- A: Peso total insoluble (mgr)  
B: Peso total de la muestra (mgr)

Para porcentajes de insolubles < que 1,0 informe aproximando al 0,01%; para porcentajes de insolubles de 1 o más informe aproximando al 0,1%.

**10.- Precisión.** Para este procedimiento, la estimación de la desviación normal (Sp) y criterio para juzgar la aceptación de resultados con un nivel de confianza del 95%, son los siguientes:

	Variaciones dentro del Laboratorio		Variaciones entre Laboratorios	
	Desviación Normal Sp	Repetibilidad	Desviación Normal Sp	Reproducibilidad
Asfalto, Solubilidad mayor que 99% (aplicable cuando se usa Tricloroetileno y/o tricloroetano)	0,035	0,10	0,090	0,26

Las estimaciones de desviación normal están basados en lo siguiente:

	Asfalto
Materiales	4
Duplicado	3
Solventes	4
Laboratorios	26
Grados de libertad:	
Variaciones dentro del Laboratorio	159
Variaciones entre Laboratorios	81
Desviación normal (S) de datos:	
Variación dentro del Laboratorio	0,035
Variación entre Laboratorios	0,090

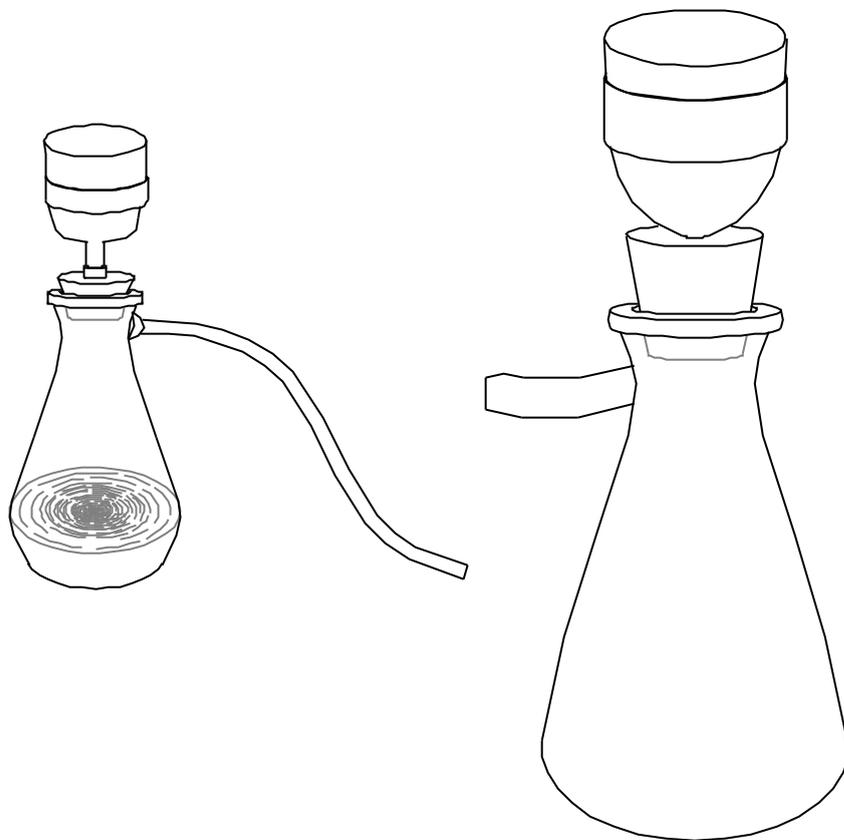
Las desviaciones normales mostradas (Sp) representan la desviación normal estimada de las mediciones del proceso para las condiciones establecidas; se calcula multiplicando la desviación normal de los datos aplicables por el factor:

$$1 + \frac{1}{4(N - 1)}$$

donde N es el número de ensayos en el set de datos.

Dos resultados obtenidos por un operador en la misma muestra deben ser considerados sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas.

Dos resultados obtenidos por operadores en diferentes laboratorios, deben ser considerados sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas.



## 8.302.12 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C.

**Nota 1.** Un método fundamental y preferencial para medir viscosidad Cinemática, es el que se describe en 8.302.13, Asfaltos: Método para Determinar la Viscosidad Cinemática. Este método requiere muestras menores, menor tiempo y es de mayor exactitud.

Las viscosidades Saybolt Universal y Saybolt Furol, pueden obtenerse de los valores de la viscosidad cinemática usando las tablas de conversión que se incluyen en el Método 8.302.14, Asfaltos: Método para Convertir Viscosidad Cinemática a Saybolt Universal o Saybolt Furol.

El índice Saybolt Universal o viscosidad cinemática se refiere a índices de viscosidad calculados usando valores de la Saybolt Universal. La viscosidad Saybolt Furol de materiales bituminosos a altas temperaturas está especificada en la norma ASTM E 102.

\*El Método 8.302.12 es una adaptación de la norma AASHTO T 72 – 78.

### 2.- Terminología.

**2.1 Viscosidad Saybolt Universal.** El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de mezcla que fluye a través de un orificio Universal, calibrado bajo condiciones especificadas.

**2.2 Viscosidad Saybolt Furol.** El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayores que 1000 s (Saybolt Universal) tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra "Furol" es una contracción de fuel and road oils

**TABLA 8.302.12.A  
TERMOMETROS ASTM PARA VISCOSIDADES SAYBOLT**

ASTM Temperatura Normal de ensaye °C	Viscosidad Saybolt Rango de temperatura °C	Termómetros	
		Subdivisiones °C	Termómetros ASTM °C
21,1	19 - 27	0,1	17C
25	19 - 27	0,1	17C
37,8	34 - 42	0,1	18C
50	49 - 57	0,1	19C
54,4	49 - 57	0,1	19C
60	57 - 65	0,1	20C
82,2	79 - 87	0,1	21C
98,9	95 - 103	0,1	22C

**3.- Descripción del Método.** El tiempo, en segundos, que demoran en fluir 60 ml de la muestra por un orificio calibrado, se mide bajo condiciones controladas cuidadosamente. Este tiempo se corrige por un factor de orificio y se informa como la viscosidad de la muestra a esa temperatura.

### 4.- Aparatos.

#### 4.1 Viscosímetro Saybolt con Baño.

**4.2 Tubo Succionador.** Como se muestra en la Lámina 8.302.12.B Figura 1 u otro aparato adecuado.

**4.3 Soporte del Termómetro.** Aparato para poner el termómetro en el viscosímetro. Un diseño adecuado se muestra en la Lámina 8.302.12.B, Figura 2.

**4.4 Embudo Filtro.** Como se muestra en la Lámina 8.302.12.B, Figura 3.

**4.5 Frasco Recibidor.** Como se muestra en la Lámina 8.302.12.B, Figura 4.

**4.6 Cronómetro.** Graduado en décimas de segundo y con una exactitud de 0,1 seg cuando se ensaya sobre un intervalo de 60 min. Los cronómetros eléctricos son aceptables, si son operados sobre un circuito de frecuencia controlada.

**4.7 Termómetro.** Para leer la temperatura de ensaye de la muestra. El termómetro para viscosidad Saybolt ASTM se muestra en Tabla 8.302.12.A y debe cumplir con lo especificado en la norma ASTM E 1.

**4.8 Termómetro para Baño.** Termómetros de viscosidad o cualquier otro medio de exactitud equivalente.

#### 5.- Preparación de los Aparatos.

**5.1** Use un orificio Universal para lubricantes y materiales destilados con tiempos de flujo mayores que 32 s para obtener la exactitud deseada. No es conveniente ensayar con estos orificios líquidos con tiempo de flujo sobre 1000 s.

**5.2** Use el orificio Furol para materiales residuales con tiempo de flujo mayor que 25 s. El tiempo de flujo Furol es aproximadamente una décima parte del tiempo de flujo Universal.

**5.3** Instale el viscosímetro con baño donde esté libre de corrientes de aire y rápidos cambios de temperatura; localícelo de modo que la muestra no se contamine con polvo o vapores durante el ensaye.

**5.4** No debe determinar la viscosidad a temperaturas inferiores a la temperatura de condensación atmosférica de la sala. Temperaturas de la sala sobre los 38°C no introducen errores superiores al 1,0 %; para una normalización y ensayos de arbitraje mantenga la temperatura de la sala entre 20 y 30°C y regístrela.

**5.5** Llene el baño hasta no menos de 6,5 mm por encima del borde de derrame del viscosímetro. El listado de la Tabla 8.302.12.B, recomienda el medio del baño por cada temperatura de ensaye.

**5.6** Disponga un revolvedor adecuado y control térmico para el baño, de modo que la muestra no fluctúe en más de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  después de alcanzar la temperatura de ensaye.

**5.7** Limpie el viscosímetro con un solvente efectivo no tóxico y quite todo el solvente del viscosímetro.

**Nota 2:** El émbolo del cual está provisto el viscosímetro no debe ser usado para limpiar los bordes de derrame y pared del viscosímetro pues puede dañarse con el uso.

#### 6.- Calibración del Viscosímetro.

**6.1** Calibre el viscosímetro Saybolt Universal a intervalos no mayores que 3 años, midiendo el tiempo de flujo a 38°C de una viscosidad normal apropiada siguiendo el procedimiento dado en 7.

**6.2** El tiempo de flujo debe ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt; si el tiempo de flujo difiere del valor certificado por más de 0,2%, calcule el factor de corrección, F, para el viscosímetro, como sigue:

$$F = \frac{v}{t}$$

donde:

v : Viscosidad Saybolt certificada.

T : Tiempo del flujo en segundos a 38°C.

**Nota 3:** El factor de corrección aplicado a todos los niveles de viscosidad para todas las temperaturas, provee la calibración que está basada en una viscosidad normal que tiene un tiempo de flujo entre 200 y 600 s.

**6.3** Calibre el viscosímetro Saybolt Furol a 150°C de la misma manera como se hizo antes, usando una viscosidad normal teniendo un tiempo de flujo mínimo de 90 s.

**6.4** Los viscosímetros u orificios que tienen correcciones superiores al 1,0 % no deben usarse para ensayos de arbitraje.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

**7.1** Si la temperatura de ensaye está por encima de la temperatura de la sala, el ensaye puede acelerarse por precalentamiento de la muestra a no más que 1,6° C por sobre de la temperatura de ensaye.

**Nota 4:** Para materiales asfálticos cortados que tienen componentes altamente volátiles tales como los de curado rápido y curado medio, los precalentamientos no están permitidos en recipientes abiertos. Vierta el material dentro del viscosímetro a la temperatura de la sala o si el material es demasiado viscoso para vaciarlo a la temperatura de la sala, caliéntelo, colocando la muestra en el envase original en un baño de agua a 50°C por unos minutos antes de vaciar. El filtrado a través de una malla de 0,160 mm, como se describe en 7.3, se omite. Para ensayos sobre la temperatura de la sala, las diferencias mayores de temperatura que se permiten durante el período de calentamiento están indicadas en la Tabla 8.302.12.B, pero la temperatura del baño deberá ajustarse dentro de los límites prescritos antes del minuto final de agitación, durante el cual la temperatura de la muestra permanece constante (ver 7.4)

**7.2** Inserte un tapón de corcho, que tenga un cordel unido para quitarlo con facilidad, dentro de la cámara de aire, en el fondo del viscosímetro. El corcho debe encajar estrechamente, lo suficiente para prevenir el escape de aire; una evidencia es la ausencia del líquido por ensayar sobre el corcho cuando se retira.

**7.3** Filtre la muestra preparada a través de una malla 0,160 mm, tamizando directamente dentro del viscosímetro hasta el nivel que está sobre el borde de derrame.

**7.4** Revuelva la mezcla hasta que la temperatura permanezca constante dentro de 0,1°C de la temperatura de ensaye, revolviendo continuamente durante 1 min. Revuelva con el termómetro del viscosímetro puesto en un soporte (Lámina 8.302.12.B, Figura 2 ). Use un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal.

**Nota 5:** La viscosidad de aceites refinados del petróleo, aceites lubricantes negros, residuos combustibles y productos cerosos similares, puede ser afectada por la historia térmica previa. Los siguientes procedimientos de precalentamiento deben seguirse para obtener resultados uniformes para viscosidad bajo los 95°C. Para obtener una muestra representativa, caliente la muestra en el recipiente original, cercano a los 50°C, revolviendo y agitándola. Sondee la parte inferior del recipiente con una varilla, para tener la certeza que todo el material ceroso está en solución. Vierta 100 ml dentro de un Erlenmeyer de 125 ml. Taponee sueltamente con un tapón de corcho o goma; sumerja el frasco en el baño con agua en ebullición por 30 min. Mezcle bien, quite la muestra del baño y tamice a través de una malla 0,08 mm directamente dentro del viscosímetro. Complete el ensaye de viscosidad dentro de 1 h después del precalentamiento.

**Nota 6:** Nunca ajuste la temperatura por inmersión de cuerpos calientes o fríos dentro de la muestra. En tal caso el tratamiento termal puede afectar a la muestra y a la precisión del ensaye.

**7.5** Quite el termómetro de la muestra; rápidamente retire el líquido del rebalse hasta que el nivel esté por debajo del borde de éste. Esto se hace colocando el extremo del tubo de succión (Lámina 8.302.12.B, Figura 1) en un punto del rebalse y aplicando succión. No toque el nivel de rebalse con el tubo de succión, o el menisco efectivo de la muestra se verá reducido.

**7.6** Coloque el frasco receptor (Lámina 8.302.12.B, Figura 4) donde fluya el líquido desde el fondo del viscosímetro, de modo que apenas tope con el cuello del frasco. La marca de graduación estará entre 100 y 130 mm debajo del fondo del tubo del viscosímetro.

**7.7** Suelte el corcho del viscosímetro usando el cordel; al mismo tiempo eche a andar el cronómetro. Pare el cronómetro en el instante que la parte inferior del menisco llegue a la marca de graduación. Informe el tiempo de flujo en segundos.

**8.- Cálculos e Informe.**

**8.1** Multiplique el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro determinado en 6.1.

**8.2** Informe el tiempo de flujo corregido como Viscosidad Saybolt Universal o Furol de la muestra y la temperatura a la cual realizó el ensaye.

**8.3** Informe los valores SUs o SFs bajo 200 aproximando a 0,1 s.  
Informe los valores SUs o SFs sobre 200 aproximando al segundo.

**Nota 7:** La abreviatura preferida para los Segundos Saybolt Universales es SUs y para los Segundos Saybolt Furol es SFs.

**TABLA 8.302.12.B  
TEMPERATURA DE ENSAYE DEL BAÑO**

Temperatura normal de ensaye °C	Medio del Baño Recomendado	Máxima temperatura diferencial (a) °C	Precisión de Funcionamiento °C
21,1	Agua .....	± 0,06	± 0,03
25,0	Agua .....	± 0,06	± 0,03
37,8	Agua, o aceite de viscosidad 50-70 s SU a 38°C	+ 0,14	± 0,03
50,0	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	+ 0,19	± 0,03
54,4	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	+ 0,28	± 0,03
60,0	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	+ 0,56	± 0,06
82,2	Agua, o aceite de viscosidad 330-370 s SU a 38°C	+ 0,83	± 0,06
98,9	Aceite de viscosidad 330 - 370 s SU a 38°C	+ 1,11	± 0,06

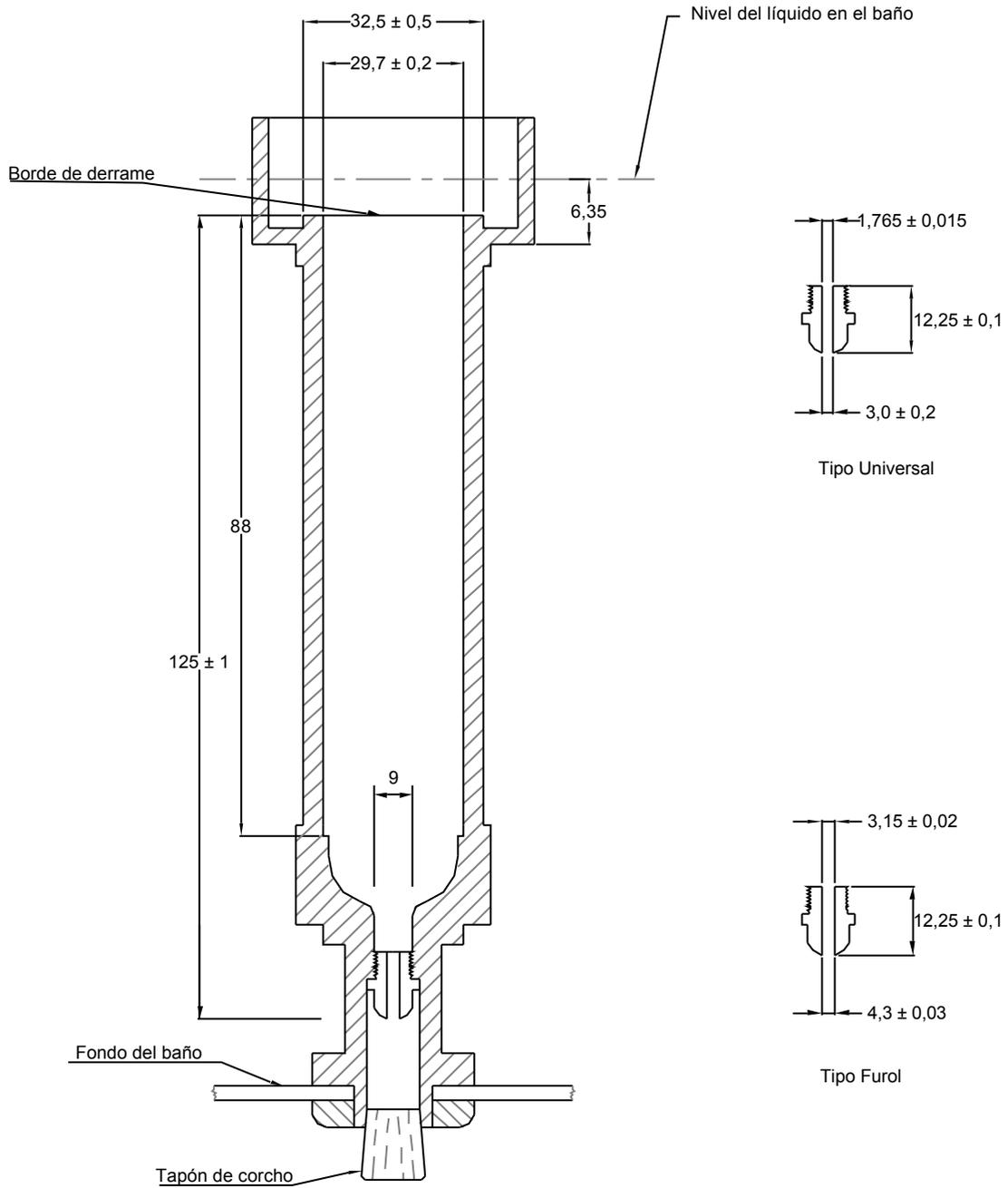
**Nota:**

(a) Máxima diferencia permitida entre la temperatura del baño y la temperatura de ensaye para mantener el equilibrio térmico al mismo tiempo que se revuelve la muestra en el viscosímetro con el termómetro.

**9.- Precisión.** Los resultados presentados no deben diferir en más de los siguientes:

**9.1** Repetibilidad (un operador y aparato): 1%

**9.2** Reproducibilidad (diferentes operadores y aparatos): 2%.



Dimensiones en mm.

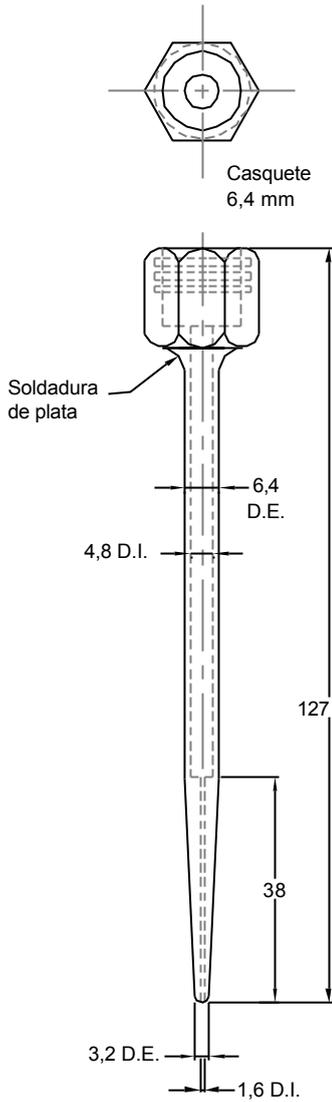


Figura 1.

**Nota:** En las figuras 2, 3 y 4 las dimensiones no son críticas para los procedimientos de ensaye y pueden ser consideradas como aproximadas.

10 ± 1 D.I. Marco de graduación

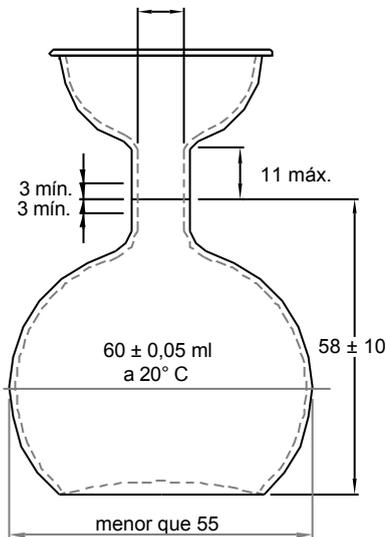


Figura 4.

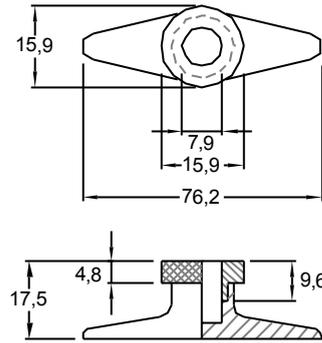
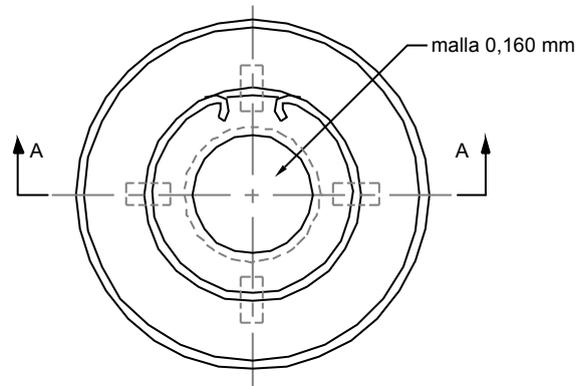


Figura 2.



Sección A-A

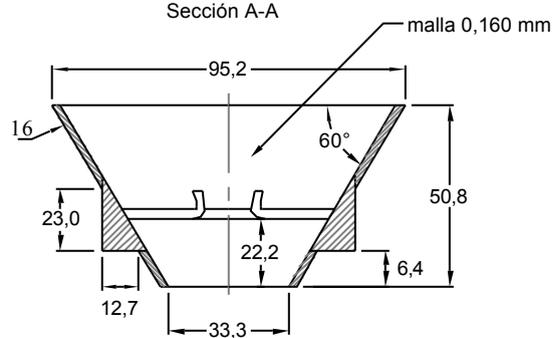


Figura 3.

Dimensiones en mm.

### 8.302.13 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMATICA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt (Nota 1).

Los resultados de este método pueden usarse para calcular la viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensaye es conocida o puede determinarse.

**Nota 1:** Este método es apropiado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada solamente en la determinación en asfaltos cortados y aceites de caminos a 60°C y cementos asfálticos a 135°C en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

\*El Método 8.302.13 es una adaptación de la norma AASHTO T 201 – 76.

**2.- Resumen del Método.** Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye a través del capilar de un viscosímetro de vidrio, calibrado bajo una carga de presión reproducible con exactitud y temperatura cuidadosamente controlada. Entonces se calcula la viscosidad cinemática, multiplicando el tiempo de escurrimiento en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

#### 3.- Terminología.

**3.1 Viscosidad Cinemática.** Para un flujo por gravedad dado por una carga hidrostática, la presión de carga hidrostática de un líquido es proporcional a su densidad  $\rho$ . Para un viscosímetro en particular, el tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática  $\gamma = M/\rho$ , donde M es el coeficiente de viscosidad. La unidad CGS de viscosidad cinemática es 1 cm<sup>2</sup>/s llamada Stokes (1 St). La unidad SI de viscosidad cinemática es 1 m<sup>2</sup>/s y es equivalente a 10<sup>4</sup> St. Comúnmente, se usa el centistokes (1 cSt = 10<sup>-2</sup> St).

**3.2 Densidad.** Masa por unidad de volumen del líquido. La unidad cgs de densidad es g/cm<sup>3</sup> y la unidad SI de densidad es kg/m<sup>3</sup>.

**3.3 Viscosidad.** Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y el grado de corte. Este coeficiente es una medida de la resistencia del líquido a fluir; comúnmente se llama viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS es 1 g/cm · s (1 dina · s/cm<sup>2</sup>) y se llama poise (P); la unidad SI de viscosidad es Pa · s (N · s /m<sup>2</sup>) y es equivalente a 10 P; comúnmente se usa el centipoise. (1cP = 10<sup>-2</sup>P).

#### 4.- Equipos.

**4.1 Viscosímetros.** Del tipo capilar, de vidrio borosilicato templado; los apropiados para este ensaye se describen en el Anexo 2 y se incluyen, entre otros, los siguientes:

- a) Cannon - Fenske, para líquidos opacos
- b) Zeitfuchs Cross - Arm
- c) Lantz - Zeitfuchs
- d) BSU - Tubo viscosímetro modificado de flujo reverso

**4.2** En el Anexo A 3 se entregan algunos detalles para calibrar los viscosímetros.

**4.3 Termómetros.** Conforme a los requisitos para termómetros 47C y 110C respectivamente, según ASTM E 1. Deben tener un rango entre 58,5° C a 61,5° C y de 133,5° C a 136,5° C. Otro tipo de termómetros pueden utilizarse siempre que tengan una precisión, sensibilidad y seguridad igual o mayor que las prescritas en ASTM E 1.

**Nota 2:** Los Termómetros ASTM 47 y 110C están normalizados a “inmersión total”, lo cual significa inmersión del tope de la columna de mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión en el tope del termómetro expuesto a la temperatura de la sala. La práctica de la inmersión completa del termómetro no se recomienda; cuando un termómetro está completamente sumergido las correcciones, para cada termómetro individual basada en la calibración bajo condiciones de completa inmersión, deben ser determinadas y aplicadas. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su uso, la presión del gas en la cámara de expansión puede ser más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas alta o bajas en el termómetro.

**Nota 3:** Información acerca de técnicas de calibración propias de termómetros se dan en ASTM E 1 y método E 77.

**4.4 Baño.** Un baño adecuado para sumergir el viscosímetro tal que el líquido del estanque o la parte superior del capilar, cualquiera esté más alto, esté a lo menos 20 mm bajo el nivel superior del baño, siendo visible el viscosímetro y el termómetro. Debe estar provisto de apoyos firmes para los viscosímetros o el viscosímetro puede ser parte integral del baño. La eficiencia del escurrimiento y el balance entre entrega y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no debe variar en más de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  a lo largo del viscosímetro o entre viscosímetros ubicados en distintas partes del baño.

**Nota 4:** El agua destilada es un líquido apropiado para el baño para determinaciones a  $60^{\circ}\text{C}$ . Los aceites transparentes con un punto de inflamación sobre  $215^{\circ}\text{C}$  son adecuados para determinaciones a  $135^{\circ}\text{C}$ . El punto de inflamación se determina según 8.302.9.

**4.5 Cronómetros.** Un cronómetro u otro medidor de tiempo activado por algún medio debidamente graduado en divisiones de 0,1 s o menor y una seguridad entre un 0,05% cuando se ensaye sobre intervalos no menores que 15 min.

**4.6 Cronómetro eléctrico.** Puede usarse sólo en circuitos eléctricos cuyas frecuencias son controladas con una precisión de 0,05% o mejor.

**Nota 5:** Cuando se usan cronómetros eléctricos, la corriente alterna, cuya frecuencia es intermitente y no controlada continuamente, como la que abastece los sistemas públicos, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

**5.- Preparación de la Muestra.** Para minimizar la pérdida de constituyentes volátiles y obtener resultados reproducibles, proceda como sigue:

#### 5.1 Procedimientos para Asfaltos Cortados y Aceites de Caminos.

- a) Para alcanzar la temperatura de la sala, son apropiadas las muestras en contenedores sellados.
- b) Abra el contenedor con la muestra y mezcle totalmente por agitación por 30 s, teniendo cuidado para evitar la entrada de aire. Si la muestra está demasiado viscosa para su agitación, colóquela dentro del contenedor sellado en un baño u horno mantenido a  $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta que esté suficientemente líquida para agitarla.
- c) Inmediatamente cargue el viscosímetro o, si el ensaye se va a realizar más tarde, vacíe aproximadamente 20 ml en uno o más contenedores limpios de capacidad 30 ml e inmediatamente selle herméticamente.
- d) Para materiales con viscosidad a  $60^{\circ}\text{C}$  sobre 800 cSt, caliente los 20 ml de muestra en el contenedor sellado en un horno o baño mantenido a  $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta que esté suficientemente líquido para transferirlo en forma adecuada al viscosímetro; este calentamiento no debe exceder de 30 min.

#### 5.2 Procedimiento para Cementos Asfálticos.

- a) Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que llegue a estar suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente agitar la muestra para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.
- b) Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a  $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; agitando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

## 6.- Procedimiento de Ensaye.

**6.1** Los detalles específicos de las operaciones varían según los distintos tipos de viscosímetros. Sin embargo, en todo caso, siga el procedimiento general descrito en 6.2 al 6.8

**6.2** Mantenga el baño a la temperatura de ensaye dentro de un rango de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Si es necesario haga las correcciones a las lecturas del termómetro.

**6.3** Seleccione un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor que 60 s, y precaliente a la temperatura de ensaye.

**6.4** Cargue el viscosímetro en la forma indicada para el tipo de diseño del viscosímetro, como se describe en el Anexo A 2.

**6.5** Deje que el viscosímetro cargado permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensaye, como se describe en el Anexo A 2.

**6.6** Inicie el flujo de asfalto en el viscosímetro, como se describe en el Anexo A 2.

**6.7** Mida aproximando a 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda. Si el tiempo de flujo es menor de 60 s, seleccione un viscosímetro con un diámetro capilar menor y repita la operación.

**6.8** Al finalizar el ensaye, limpie el viscosímetro prolijamente mediante varios lavados con un solvente apropiado que sea completamente miscible con la muestra y luego, mediante lavados con un solvente completamente volátil. Seque el tubo, haciendo pasar en forma lenta una corriente de aire seco y filtrado a través del capilar durante 2 min o hasta que la última traza de solvente sea removida. Periódicamente limpie el viscosímetro con ácido crómico, para remover depósitos orgánicos; lave prolijamente con agua destilada y acetona libre de residuo y seque con aire seco filtrado.

**7.- Cálculos.** Calcule la viscosidad cinemática, con tres cifras significativas, usando la siguiente ecuación.

$$\text{Viscosidad Cinemática (cSt)} = C \cdot t$$

donde:

C : Constante de calibración del viscosímetro (cSt/s).

T : Tiempo de flujo (s).

**Nota 6:** Otras publicaciones ASTM sobre viscosidad que pueden usarse en conjunto con los resultados determinados de acuerdo con este método son ASTM D 445, ASTM 2493 y también puede emplearse el Método 8.302.14.

**8.- Informe.** Informe siempre con el resultado, la temperatura de ensaye, por ejemplo:

$$\text{Viscosidad Cinemática a } 60^{\circ}\text{C} = 75 \text{ cSt}$$

**9.- Precisión.** Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensaye de viscosidad obtenida por este método están dados en la Tabla 8.302.13.A.

**TABLA 8.302.13.A**  
**ACEPTABILIDAD DE RESULTADOS DE ENSAYE PARA VISCOSIDAD CINEMATICA**

<b>Listado de Materiales y Modelos</b>	<b>Coefficiente de Variación (% de media)</b>	<b>Rango aceptable de los resultados (% de media)</b>
<b>Precisión de operador único:</b>		
Cementos Asfálticos a 135°C	0,64	1,8
Asfaltos Líquidos a 60°C		
bajo 3000 cSt	0,53	1,5
3000 a 6000 cSt	0,71	2,0
Superior a 6000 cSt	3,2	8,9
<b>Precisión entre múltiples laboratorios:</b>		
Cementos Asfálticos a 135°C	3,1	8,8
Asfaltos Líquidos a 60°C		
bajo 3000 cSt	1,06	3,0
3000 a 6000 cSt	3,11	9,0
sobre 6000 cSt	3,6	10,0

**Nota:** Los valores dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensaye descritos en columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no se deben exceder entre resultados diferentes de dos ensayes correctamente dirigidos.

## ANEXO A 1

### A 1 CALCULO DE VISCOSIDAD DE UN LIQUIDO NEWTONIANO

**A 1.1** La viscosidad de un líquido Newtoniano se calcula a partir de la viscosidad cinemática, multiplicándola por la densidad del líquido a la temperatura de ensaye.

**A 1.2** Para asfaltos de pavimentos, la densidad a 135 °C puede determinarse convenientemente según Método 8.302.2, a 25°C, multiplicándola por un factor de 0,934g/cm<sup>3</sup> o a 15,5°C, multiplicándola por un factor de 0,931 g/cm<sup>3</sup>. Estos factores están basados en un promedio del coeficiente de expansión del asfalto de 0,00061 / °C.

**A 1.3** Cuando no se conoce la densidad del asfalto, se puede obtener una determinación satisfactoria de la viscosidad a 135°C, multiplicando la viscosidad cinemática a 135°C por una densidad asumida de 0,948 g/cm<sup>3</sup>. Este valor de densidad es equivalente al de 1,015 a 25°C. Ensayes a un gran número de asfaltos indican que el error producido por la densidad asumida no excede en un ± 3%.

### A 2 VISCOSIMETRO DE FLUJO REVERSO

**A 2.1** El viscosímetro de flujo reverso para líquidos transparentes y opacos, incluye los viscosímetros Cannon Fenske Opaque, Zeitfuchs Cross - Arm, BS/IP/RF y Lantz Zeitfuchs. A diferencia de los viscosímetros Ostwald modificado y nivel - suspendido, la muestra de líquido fluye a través del bulbo donde se registra el tiempo, sin ser humedecido previamente por la muestra, esto permite registrar el tiempo de líquidos opacos. Los viscosímetros de flujo reverso se usan para medir la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos hasta de 100.000 cSt.

**A 2.2** Aparatos: Las Láminas 8.302.13.A, 8.302.13.B, 8.302.13.C y 8.302.13.D, muestran los viscosímetros de flujo reverso: detalles de medidas, constante aproximada, rango de viscosidad cinemática, diámetro del capilar y volúmenes de bulbo para cada viscosímetro. El rango de viscosidad cinemática está basado en un tiempo de flujo mínimo de 60 s por este método; los mismos viscosímetros están también descritos en ASTM D 2515 con rangos diferentes de viscosidad basado en un tiempo de flujo mínimo de 200 s como se prescribe en ASTM D 445.

#### A 2.3 Instrucciones de Operación

**A 2.3.1** En 6 se incluye un procedimiento de operación normal. Instrucciones de operación adicionales para los viscosímetros de flujo reverso se describen en A 2.3.2 a A 2.3.8, con énfasis en que estos procedimientos son específicos para un instrumento o grupo de instrumentos en particular.

**A 2.3.2** Seleccione un viscosímetro limpio y seco que dé un tiempo de flujo mayor que 60 s.

**A 2.3.3** Cargue el viscosímetro en la forma indicada por el diseño del instrumento; esta operación deberá estar en conformidad con la que se empleó cuando se calibró el instrumento. Si la muestra contiene limo, partículas sólidas, etc, filtre como se prescribe en ASTM D 445.

**A 2.3.3.1** Para cargar el viscosímetro Cannon Fenske Opaque, invierta el viscosímetro y aplique succión al tubo L, sumergiendo el tubo N en la muestra líquida llenando el bulbo D hasta llegar a la marca G. Limpie el exceso de muestra del tubo N e invierta el viscosímetro a su posición normal. Monte el viscosímetro en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo L vertical. Cuando la muestra recorra a través de R y llene el bulbo A, aproximadamente hasta el medio, retenga el flujo colocando un tapón en el tubo L. (Ver Lámina 8.302.13.A).

**A 2.3.3.2** Monte el viscosímetro Zeitfuchs Cross Arm en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca suficiente muestra a través del tubo N, teniendo cuidado de no mojar las paredes de éste en el brazo cruz D, hasta que el nivel permanezca entre 0,5 mm de la marca de llenado G en el tubo sifón. (Ver Lámina 8.302.13.B).

**A 2.3.3.3** Monte el viscosímetro Lantz Zeifuchs en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca suficiente muestra a través del tubo N para llenar completamente el bulbo D, inundando ligeramente hacia el interior del derrame del bulbo K. Si la muestra es vaciada a temperatura superior a la temperatura de ensaye, espere 15 min para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño y agregue más muestra para derramar lentamente al interior del bulbo K. Este período de 15 min es aparte y no se adiciona al tiempo de equilibrio de A 2.3.4. (Ver Lámina 8.302.13.C).

**A 2.3.3.4** Monte el viscosímetro BS/IP/RF en el baño a temperatura constante manteniendo el tubo L vertical. Vacíe la muestra a través del tubo N a un punto justo sobre la marca de llenado G. Deje que la muestra fluya libremente a través del capilar R, teniendo cuidado que la columna de líquido permanezca completa, hasta que la parte inferior del menisco esté cerca de 5 mm bajo la marca de llenado H y entonces detenga el flujo cerrando el tubo L con un corcho o tapón de goma. Agregue más líquido, si es necesario, para conducir la parte superior del menisco ligeramente sobre la marca G. Después, dejando que la muestra alcance la temperatura del baño y ninguna burbuja de aire alcance la superficie, suavemente quite el corcho, permitiendo que la muestra fluya a la parte inferior de la marca de llenado H y entonces detenga el flujo. Remueva el exceso de muestra sobre la marca de llenado G, insertando una pipeta especial hasta su corcho apoyado en el tope del tubo N. Aplique succión suave hasta que el aire sea arrastrado a través de él. La parte superior del menisco debe coincidir con la marca G. (Ver Lámina 8.302.13.D).

**A 2.3.4** Deje que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante el tiempo suficiente para asegurarse que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (cerca de 20 min a 38°C, 25 min a 99°C y 30 min a 135°C).

**A 2.3.5** Para los viscosímetros Cannon Fenske Opaque y BS/IP/RF, remueva el tapón en el tubo L y deje que la muestra fluya por gravedad. Para Viscosímetros Zeifuchs Cross Arm, aplique un leve vacío al tubo M (o presión al tubo N) para causar que el menisco se mueva a través del tubo sifón y cerca de 30 min bajo el nivel del tubo D en capilar R; así se inicia el flujo por gravedad. Para el viscosímetro Lentz Zeifuchs, aplique un leve vacío al tubo M (o presión al tubo N con el tubo K cerrado) hasta que la parte baja del menisco esté opuesto a la marca baja de tiempo E, deje que la muestra fluya por gravedad.

**A 2.3.6** Mida aproximando a 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase desde la marca de tiempo E a la marca de tiempo F como se prescribe en 5.

**A 2.3.7** Calcule la viscosidad como se describe en 8.302.13 numeral 6.

### A 3 CALIBRACION DE VISCOSIMETROS.

**A 3.1** Alcances. Este apéndice describe los materiales y procedimientos usados para calibración o comprobación de calibración de viscosímetros usados en este método.

#### A 3.2 Materiales de Referencia

**A 3.2.1** Viscosidad de Aceites Normales conforme a viscosidades de aceites normales ASTM que tengan la viscosidad cinemática aproximada mostrada en Tabla 8.302.13.A3. Los valores certificados de viscosidad cinemática establecidos son suministrados con cada muestra

**TABLA 8.302.13.A3  
VISCOSIDAD DE ACEITES NORMALES**

Viscosidad de Aceites Normales conforme a ASTM		Viscosidad Cinemática Aproximada (cSt)		
		A 37,8°C	A 50°C	A 99°C
S	60	60	-	-
S	200	200	-	-
S	600	600	280	32
S	2.000	2.000	-	-
S	8.000	8.000	-	-
S	30.000	27.000	11.000	-

### A 3.3 Calibración

**A 3.3.1** Calibración de Viscosímetros habituales mediante Viscosidad de Líquidos Normales. Seleccione desde la Tabla 8.302.13.A3 un líquido normal que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 s a la temperatura de calibración (preferentemente a 37,8°C). Determine el tiempo de flujo aproximando a 0,1 s mediante el procedimiento descrito en 6 y calcule la constante del viscosímetro C, como sigue:

$$C = V / t$$

donde:

V : Viscosidad para el líquido normal ( cSt).  
T : Tiempo de flujo (s).

**A 3.3.2** La constante del viscosímetro es independiente de la temperatura para los viscosímetros tipo Zeitfuchs Cross - Arm, Lantz - Zeitfuchs y tubos UBS/IP/RF.

**A 3.3.3** El viscosímetro Cannon - Fenske Opaque tiene un volumen fijo de muestra cargada a la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensaye difiere de la temperatura de llenado, la constante del viscosímetro se calcula como sigue:

$$\text{Constante del viscosímetro, } C_t = C_o [1 + F (T_e - T_{II})]$$

donde:

C : Constante del viscosímetro cuando se llena y ensaya a la misma temperatura.  
T : Temperatura.  
F : Factor de temperatura dependiente (ver A 3.3.4).  
Subíndices e, II : Valores de la temperatura de ensaye y temperatura de llenado, respectivamente.

**A 3.3.4** Cálculo de la constante de temperatura dependiente mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Factor, } F = 4 \alpha V / \pi d^2 h = [4 V (\rho_{II} - \rho_e)] / [\pi d^2 h \rho_e (T_e - T_{II})]$$

donde:

V : Volumen de carga ( cm<sup>3</sup>).  
d : Diámetro promedio (cm) del menisco en la parte superior del depósito.  
h : Promedio de la diferencia de nivel impulsadora (cm).  
 $\alpha$  : Coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensaye entre la temperatura de llenado y la temperatura de ensaye.  
 $\rho$  : Densidad (g/cm<sup>3</sup>).  
Subíndices e y II : valores de ensaye y de llenado respectivamente

**A 3.3.5** Si el viscosímetro se usa en otra ubicación que la de calibración del laboratorio, la constante C será corregida por la diferencia en la aceleración de gravedad (g), de las dos localidades como sigue:

$$C_2 = (g_2 / g_1) C_1$$

donde:

C<sub>2</sub> : Constante de calibración en el laboratorio de ensaye.  
C<sub>1</sub> : Constante de calibración en el laboratorio de calibración.  
g<sub>2</sub> : La aceleración de gravedad en el laboratorio de ensaye.  
g<sub>1</sub> : La aceleración de gravedad en el laboratorio de calibración.

Los certificados para viscosímetros expresarán el valor de g en la ubicación del laboratorio de calibración. Fallas en corregir por gravedad pueden resultar en errores del 0,2%.

**A 3.3.6** Calibración de viscosímetros habituales por medio de viscosímetros normales. Seleccione cualquier aceite de petróleo que tenga un tiempo de flujo de al menos 200 s. Seleccione también un viscosímetro normal de constante conocida, C. El viscosímetro puede ser un viscosímetro patrón, el cual ha

sido calibrado por el procedimiento “subir”, usando viscosímetros de diámetros sucesivamente mayores, partiendo con agua destilada como la viscosidad básica normal o un viscosímetro habitual del mismo tipo que ha sido calibrado por comparación con el viscosímetro patrón.

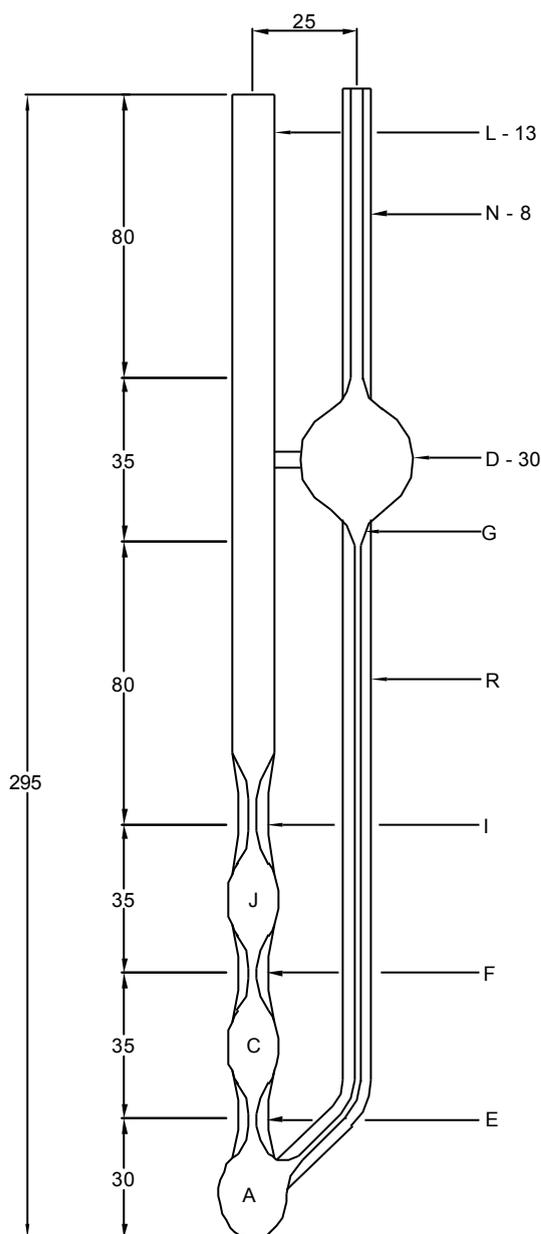
**A 3.3.6.1** Monte el viscosímetro normal, junto con el viscosímetro a ser calibrado, en el mismo baño y determine los tiempos de flujo del aceite por medio del procedimiento descrito en 6.

**A 3.3.6.2** Calcule la constante C como sigue:

$$C_1 = (t_2 \times C_2) / t_1$$

donde:

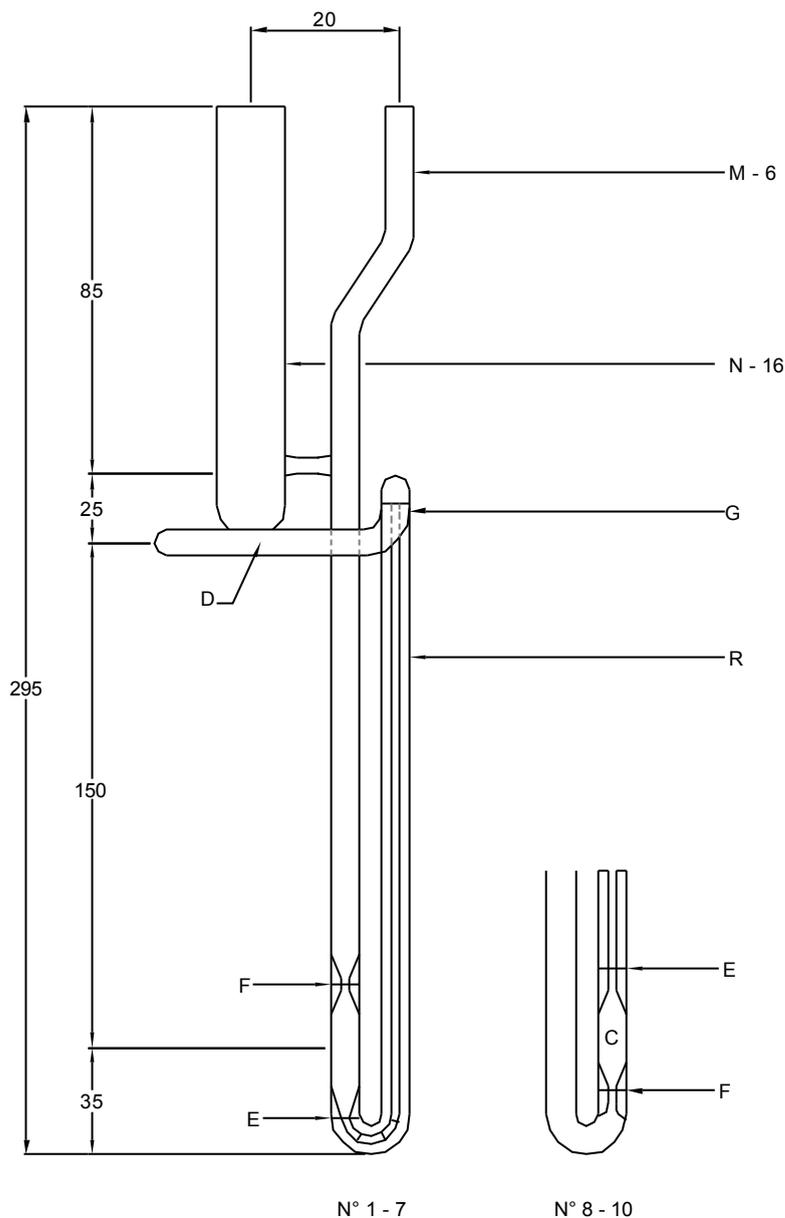
- $C_1$  : Constante C del viscosímetro habitual.
- $t_1$  : Tiempo de flujo aproximado a 0,1 s en el viscosímetro habitual.
- $C_2$  : Constante C del viscosímetro normal.
- $t_2$  : Tiempo de flujo aproximado a 0,1 s en el viscosímetro normal.



Dimensiones de pipetas y rangos de viscosidad cinemática

Número	Constante aproximada cSt/s	Rango viscosidad cinemática, cSt	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2 %)	Diámetro interno del tubo N y G tubos E, F e I mm (± 5 %)	Volumen bulbos A, C y J ml (± 5 %)	Volumen bulbo D, ml (± 5 %)
150	0,035	2,1 a 35	0,78	3,2	2,1	11
200	0,1	6 a 100	1,02	3,2	2,1	11
300	0,25	15 a 200	1,26	3,4	2,1	11
350	0,5	30 a 500	1,48	3,4	2,1	11
400	1,2	72 a 1.200	1,88	3,4	2,1	11
450	2,5	150 a 2.500	2,20	3,7	2,1	11
500	8	480 a 8.000	3,10	4,0	2,1	11
600	20	1.200 a 20.000	4,00	4,7	2,1	13

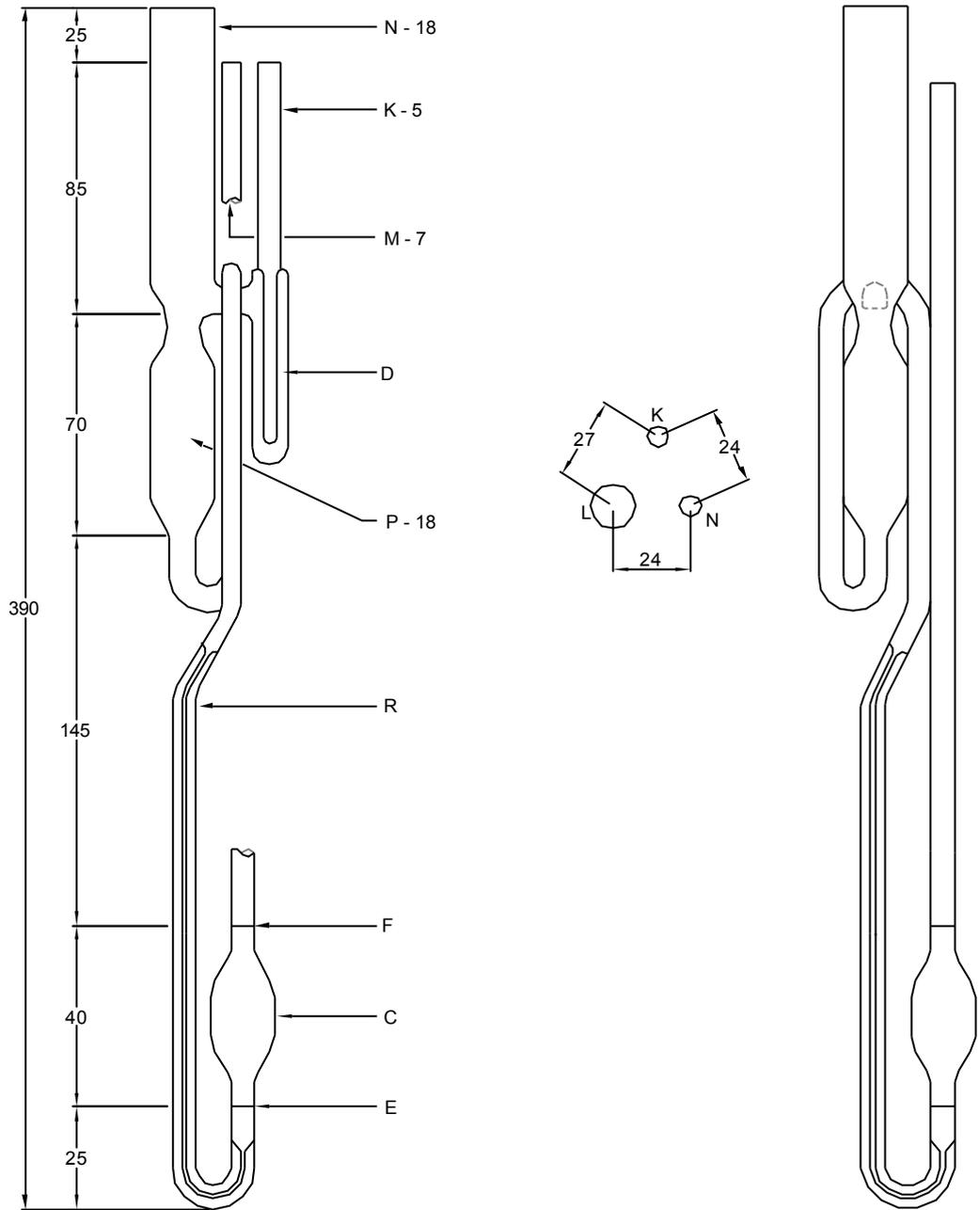
Dimensiones en milímetros.



Dimensiones de pipetas y rangos de viscosidad cinemática

Número	Constante aproximada cSt/s	Rango viscosidad cinemática, cSt	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2 %)	Largo de tubo R, mm	Volumen bulbo más bajo ml (± 5 %)	Diámetro tubo horizontal mm (± 5 %)
4	0,10	6 a 100	0,64	210	0,3	3,9
5	0,3	18 a 300	0,84	210	0,3	3,9
6	1,0	60 a 1.000	1,15	210	0,3	4,3
7	3,0	180 a 3.000	1,42	210	0,3	4,3
8	10,0	600 a 10.000	1,93	165	0,25	4,3
9	30,0	1.800 a 30.000	2,52	165	0,25	4,3
10	100,0	6.000 a 100.000	3,06	165	0,25	4,3

Dimensiones en milímetros .

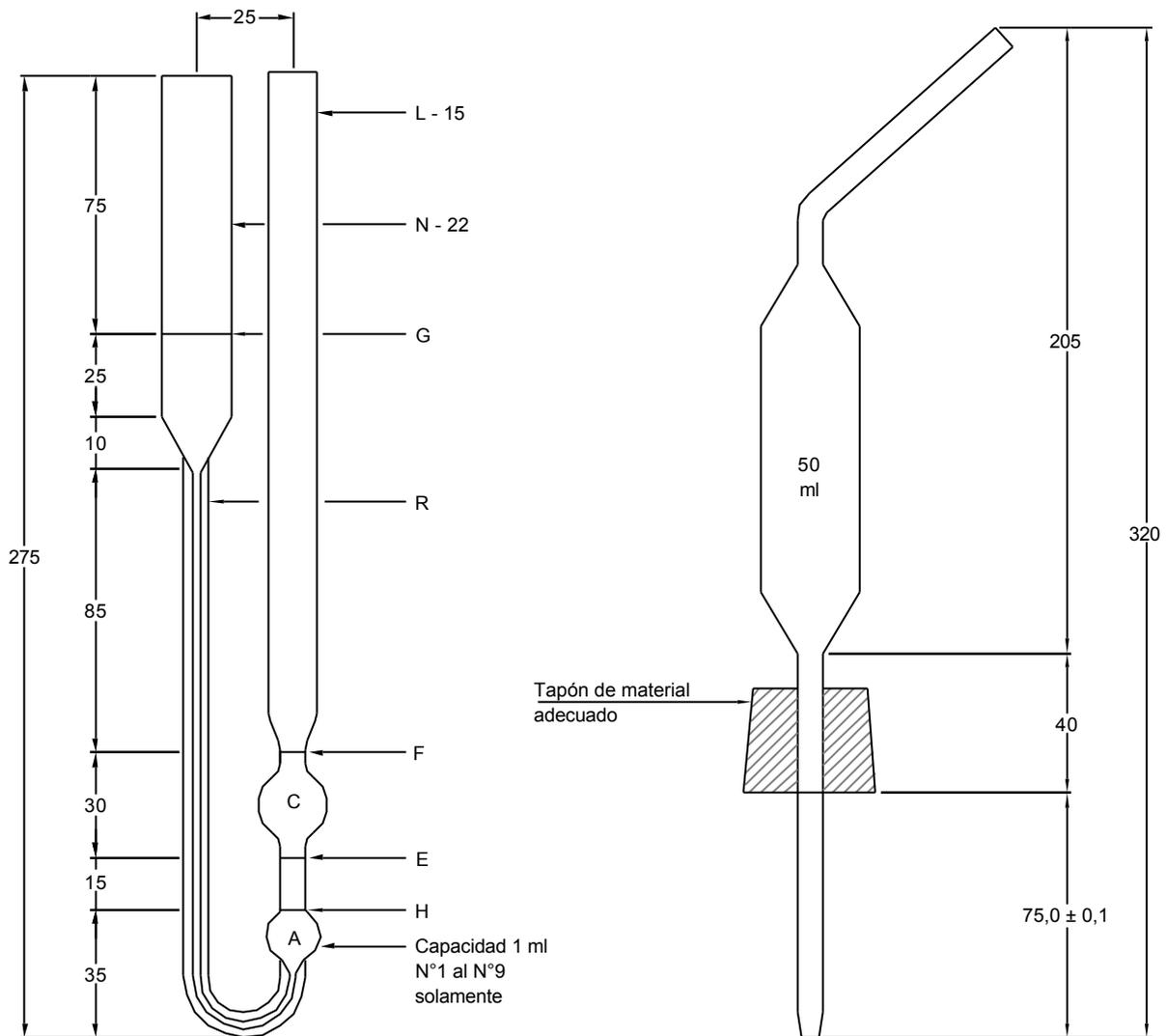


Elevación Frontal

Dimensiones de pipetas y rangos de viscosidad cinemática

Número	Constante aproximada cSt/s	Rango viscosidad cinemática, cSt	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2 %)	Largo de tubo R, mm	Volumen bulbo C, ml (± 5 %)
5	0,3	18 a 300	1,65	490	2,7
6	1,0	60 a 1.000	2,25	490	2,7
7	3,0	180 a 3.000	3,00	490	2,7
8	10,0	600 a 10.000	4,10	490	2,7
9	30,0	1.800 a 30.000	5,20	490	2,7
10	100,0	6.000 a 100.000	5,20	490	0,85

Dimensiones en milímetros.



Pipeta especial

Dimensiones de pipetas y rangos de viscosidad cinemática

Número	Constante aproximada cSt/s	Rango viscosidad cinemática, cSt	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2%)	Largo de tubo R, mm	Diámetro interno de E, F y G mm	Volumen bulbo C, ml (± 5%)
4	0,1	6 a 100	1,26	185	3,0 a 3,3	4,0
5	0,3	18 a 300	1,64	185	3,0 a 3,3	4,0
6	1,0	60 a 1.000	2,24	185	3,0 a 3,3	4,0
7	3,0	180 a 3.000	2,93	185	3,3 a 3,6	4,0
8	10	600 a 10.000	4,00	185	4,4 a 4,8	4,0
9	30	1.800 a 30.000	5,5	185	6,0 a 6,7	4,0
10	100	6.000 a 100.000	7,70	210	7,70	4,0
11	300	18.000 a 300.000	10,00	210	10,00	4,0

Dimensiones en milímetros.

## 8.302.14 ASFALTOS: METODO PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMATICA A SAYBOLT UNIVERSAL Y A SAYBOLT FUROL\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método entrega las tablas de conversión y ecuaciones para convertir viscosidad cinemática en centistokes (cst), a cualquier temperatura, a viscosidad Saybolt Universal en segundos Saybolt Universal (SUS), a la misma temperatura y para convertir viscosidad cinemática en centistokes a 50°C y 99°C a viscosidad Saybolt Furol en Segundos Saybolt Furol (SFs), a las mismas temperaturas. Los valores de la Viscosidad Cinemática están basados en agua que está a 1,0038 cst a 20°C.

\*El Método 8.302.14 es una adaptación de la norma ASTM D 2161 – 79.

### 2.- Resumen del Método.

**2.1** La equivalencia de viscosidad Saybolt Universal para una viscosidad cinemática dada, varía con la temperatura a la cual se determina. Los valores básicos de conversión son los de la Tabla 8.302.14.A para 38°C. La equivalencia de viscosidad Saybolt Universal a una viscosidad cinemática dada, a cualquier temperatura, puede calcularse como se describe en 3.3. Por conveniencia, la Tabla 8.302.14.A entrega valores equivalentes a 99°C.

**2.2** Las equivalencias de viscosidad Saybolt Furol se encuentran tabuladas en la Tabla 8.302.14.C, sólo para temperaturas de 38°C y 99°C.

**2.3** En los Anexos se incluyen algunos ejemplos de como usar las tablas.

### 3.- Procedimiento para Conversión a Viscosidad Saybolt Universal.

**3.1** Convierta viscosidad cinemática entre 1,82 y 500 cst a 38°C y entre 1,77 y 140 cst a 99°C a equivalente Saybolt Universal Segundos directamente con la Tabla 8.302.14.A (Ver Anexo, ejemplo 1).

**Nota 1.** Para obtener viscosidades que no están en el listado, pero están dentro del rango dado en Tabla 8.302.14.A, interpole en forma lineal. (Ver Anexo, ejemplo 2).

**3.2** Convierta viscosidad cinemática mayor que el límite superior de la Tabla 8.302.14.A a temperaturas de 38°C y 99°C a viscosidad Saybolt Universal como sigue (Ver Anexo, ejemplo 3):

$$\text{Saybolt Universal Segundos} = \text{Centistokes} \times B \quad (1)$$

donde:

$$B = 4,632 \text{ a } 38^\circ\text{C} = 4,664 \text{ a } 99^\circ\text{C}$$

**3.3** A otras temperaturas distintas de 38°C o 99°C, convierta viscosidad cinemática a viscosidad Saybolt Universal como sigue (ver Anexo, ejemplo 4):

$$\text{SUS}_t = \text{SUS}_{38^\circ\text{C}} (1 + 0,00011 (t - 38)) \quad (2)$$

donde:

$\text{SUS}_t$  : Viscosidad Saybolt Universal a t °C.  
 $\text{SUS}_{38^\circ\text{C}}$  : Viscosidad Saybolt Universal a 38°C en Saybolt Universal Segundos equivalente a Viscosidad Cinemática en centistokes a t °C, dada en Tabla 8.302.14.A.

**Nota 2:** La solución del paréntesis de la ecuación (2), se da como Factor A en la Tabla 8.302.14.B, para un rango de temperaturas.

**3.4** Luego la relación entre viscosidad Saybolt y cinemática es lineal sobre 75 cst; la viscosidad cinemática sobre este límite puede convertirse a viscosidad Saybolt Universal a cualquier temperatura entre -18 y 177°C usando la ecuación (1) de 8.302.1403(2), seleccionado el factor apropiado para B de la Tabla 8.302.14.B (ver Anexo, ejemplo 5).

**4.- Procedimiento para Convertir a Viscosidad Saybolt Furol.**

**4.1** Convierta viscosidad cinemática de 48 a 1.300 cst, ya sea a 38°C o 99°C, al equivalente Saybolt Furol Segundos, directamente de la Tabla 8.302.14.C (ver Anexo, ejemplo A1.6 y A1.7).

**Nota 3:** Viscosidades que no están en el listado, pero están dentro del rango dado en la Tabla 8.302.14.C, se pueden obtener por interpolación lineal (ver Anexo, ejemplo A1.8).

**4.2** Convierta viscosidad cinemática sobre 1.300 cst, al equivalente Saybolt Furol Segundos, usando la ecuación siguiente (ver Anexo, ejemplo A1.8).

$$\text{Saybolt Furol Segundos a } 38^{\circ}\text{C} = 0,4717 \times \text{centistokes a } 38^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$\text{Saybolt Furol Segundos a } 99^{\circ}\text{C} = 0,4782 \times \text{centistokes a } 99^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

**5.- Procedimiento para Cálculo.** Las Tablas 8.302.14.A y 8.302.14.B fueron calculadas de datos originales de puntos experimentales por ajuste a una curva uniforme. La ecuación derivada se entrega a continuación, para la conveniencia de quienes deseen usar un computador para conversión, antes que las tablas.

$$SU_{s_{38^{\circ}\text{C}}} = 4,632 v + \frac{1,0 + 0,03264 v}{(3.930,2 + 262,7 v + 23,97 v^2 + 1,646 v^3) \times 10^{-5}} \quad (5)$$

$$SU_{s_t} = SU_{s_{38^{\circ}\text{C}}} [1 + 0,00011(t - 38^{\circ}\text{C})] \quad (6)$$

$$\text{A } 50^{\circ}\text{C, Saybolt Furol} = 0,4717 v + \left[ \frac{13.924}{v^2 - 72,59 v + 6.816} \right] \quad (7)$$

$$\text{A } 99^{\circ}\text{C, Saybolt Furol} = 0,4792 v + \left[ \frac{5.610}{v^2 + 2.130} \right] \quad (8)$$

donde:

v = Viscosidad cinemática (cst a t °C)

**6.- Conversiones Equivalentes Suplementarias.** Las unidades y equivalencias que siguen se usan frecuentemente en conjunto con la conversión de viscosidades:

Poise (P)	= en sistema CGS, unidad de viscosidad absoluta.
Centipoise (CP)	= 0,01 poise.
Stokes (ST)	= en sistema CGS, unidad de viscosidad cinemática.
Centistokes (CST)	= 0,01 stokes.
Centipoise (CP)	= centistokes x densidad (a la temperatura en consideración).
Reyn (1 lb-s/plg <sup>2</sup> )	= 69 x 10 <sup>5</sup> centipoises.

**7.- Informe.** Informe la viscosidad Saybolt Universal y Saybolt Furol, aproximando al entero para valores de 200 s y mayores, y a 0,1 s, para valores bajo 200 s.

## ANEXO

### A1 EJEMPLOS ILUSTRATIVOS PARA CONVERSION DE VISCOSIDADES

#### A1.1 Ejemplo 1

**A1.1.1** ¿Cuál es la Viscosidad Saybolt Universal equivalente a la Viscosidad Cinemática de 74,5 cSt a 38°C?

**A1.1.2** Entre a Tabla 8.302.14.A con la viscosidad cinemática de 74,5 cSt y note que a la temperatura de 38°C la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal es 346 SUs.

#### A1.2 Ejemplo 2

**A1.2.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 24,87 a 38°C?

**A1.2.2** Entre a la Tabla 8.302.14.A con 24,85 cSt y note que la equivalencia de la viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,7 SUs. Igualmente entre a la tabla con 24,90 cSt y encontrará que la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,9 SUs. Un aumento de 0,05 cSt es igual a un correspondiente aumento de 0,2 SUs.; luego, por simple proporción, un aumento de 0,02 cSt de viscosidad cinemática aumenta la equivalencia viscosidad Saybolt Universal por  $(0,02 : 0,05) \times 0,2 = 0,08$  SUs. Por tanto la viscosidad Saybolt Universal equivalente a 24,87 cSt a 38°C es  $118,7 + 0,08 = 118,78$  y redondeado, 118,8 SUs.

#### A1.3 Ejemplo 3

**A1.3.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 745 cSt a 38°C?

**A1.3.2** Multiplique 745 por 4,632, el factor B a 38°C, obteniéndose 3.451 SUs.

#### A1.4 Ejemplo 4

**A1.4.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 54,4 cSt a 82°C?

**A1.4.2** De la Tabla 8.302.14.A convierta la viscosidad cinemática a 82°C de 54,4 cSt a la equivalente viscosidad Saybolt Universal a 38°C, encontrándose 253 SUs. Desde la Tabla 8.302.14.B obtenga el Factor A = 1,005, para convertir a la temperatura de 82°C. Multiplique 253 SUs por 1,005 obteniendo 254 SUs.

#### A1.5 Ejemplo 5

**A1.5.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 89,95 cSt a 4,4°C?

**A1.5.2** De la Tabla 8.302.14.B obtenga el Factor B para una temperatura de 4,4°C = 4,615. Multiplique 89,95 por 4,615, obteniendo 415 SUs.

#### A1.6 Ejemplo 6

**A1.6.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a una viscosidad cinemática de 231 cSt a 50°C?

**A1.6.2** Entre a la Tabla 8.302.14.C con 231 cSt y note que la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 50°C es 109,3 SFs.

#### A1.7 Ejemplo 7

**A1.7.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol a 99°C equivalente a una viscosidad cinemática de 287 cSt a 99°C?

**A1.7.2** Entre a la Tabla 8.302.14C con 287 cSt y note que la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 99°C es 137,6 SFs.

**A1.8 Ejemplo 8**

**A1.8.1** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a una viscosidad cinemática de 276,2 cSt a 50°C?

**A1.8.2** Entre a la tabla con 276 cSt y note que la equivalente viscosidad Saybolt Furol a 50°C es 130,4 SFs. Igualmente entre a la tabla con 277 cSt y note que la equivalente viscosidad Saybolt Furol es 130,9 SFs. Un aumento de 1,0 cSt es igual a un correspondiente aumento de 0,5 SFs. Luego por simple proporción, un aumento de 0,2 cSt aumenta la viscosidad Saybolt Furol equivalente de 276 cSt por  $(0,2/1,0) \times 0,5 = 0,1$  SFs. Por lo tanto, la viscosidad Saybolt Furol a 50°C equivalente a una viscosidad cinemática de 276,2 cSt a 50°C es  $(130,4 + 0,1) = 130,5$  SFs.

**A1.9 Ejemplo 9**

**A1.9.1.** ¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 1.500 cSt a 50°C?

**A1.9.2** Aplicando ecuación 3:

$$1.500 \times 0,4717 = 707,55 \text{ y redondeando a } 708 \text{ SFs}$$

**TABLA 8.302.14.A**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. CSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
			2,25	33,5	33,7	2,75	35,1	35,4	3,25	36,8	37,0
			2,26	33,5	33,7	2,76	35,2	35,4	3,26	36,8	37,0
1,77	...	32,0	2,27	33,5	33,7	2,77	35,2	35,4	3,27	36,8	37,1
1,78	...	32,1	2,28	33,6	33,8	2,78	35,2	35,5	3,28	36,9	37,1
1,79	...	32,1	2,29	33,6	33,8	2,79	35,3	35,5	3,29	36,9	37,1
			2,30	33,6	33,8	2,80	35,3	35,5	3,30	36,9	37,2
1,80	...	32,1	2,31	33,7	33,9	2,81	35,3	35,6	3,31	37,0	37,2
1,81	32,0	32,2	2,32	33,7	33,9	2,82	35,4	35,6	3,32	37,0	37,2
1,82	32,0	32,2	2,33	33,7	33,9	2,83	35,4	35,6	3,33	37,0	37,3
1,83	32,0	32,2	2,34	33,8	34,0	2,84	35,4	35,7	3,34	37,1	37,3
1,84	32,1	32,3									
1,85	32,1	32,3	2,35	33,8	34,0	2,85	35,5	35,7	3,35	37,1	37,3
1,86	32,1	32,3	2,36	33,8	34,0	2,86	35,5	35,7	3,36	37,1	37,4
1,87	32,2	32,4	2,37	33,9	34,1	2,87	35,5	35,8	3,37	37,2	37,4
1,88	32,2	32,4	2,38	33,9	34,1	2,88	35,6	35,8	3,38	37,2	37,4
1,89	32,2	32,4	2,39	33,9	34,2	2,89	35,6	35,8	3,39	37,2	37,5
			2,40	34,0	34,2	2,90	35,6	35,9	3,40	37,3	37,5
1,90	32,3	32,5	2,41	34,0	34,2	2,91	35,7	35,9	3,41	37,3	37,5
1,91	32,3	32,5	2,42	34,0	34,3	2,92	35,7	35,9	3,42	37,3	37,6
1,92	32,3	32,5	2,43	34,1	34,3	2,93	35,7	36,0	3,43	37,4	37,6
1,93	32,4	32,6	2,44	34,1	34,3	2,94	35,8	36,0	3,44	37,4	37,6
1,94	32,4	32,6									
1,95	32,4	32,6	2,45	34,1	34,4	2,95	35,8	36,0	3,45	37,4	37,7
1,96	32,5	32,7	2,46	34,2	34,4	2,96	35,8	36,1	3,46	37,5	37,7
1,97	32,5	32,7	2,47	34,2	34,4	2,97	35,9	36,1	3,47	37,5	37,7
1,98	32,5	32,8	2,48	34,2	34,5	2,98	35,9	36,1	3,48	37,5	37,8
1,99	32,6	32,8	2,49	34,3	34,5	2,99	35,9	36,2	3,49	37,6	37,8
			2,50	34,3	34,5	3,00	36,0	36,2	3,50	37,6	37,8
2,00	32,6	32,8	2,51	34,3	34,6	3,01	36,0	36,2	3,51	37,6	37,9
2,01	32,6	32,9	2,52	34,4	34,6	3,02	36,0	36,3	3,52	37,6	37,9
2,02	32,7	32,9	2,53	34,4	34,6	3,03	36,0	36,3	3,53	37,7	37,9
2,03	32,7	32,9	2,54	34,4	34,7	3,04	36,1	36,3	3,54	37,7	38,0
2,04	32,7	33,0									
2,05	32,8	33,0	2,55	34,5	34,7	3,05	36,1	36,4	3,55	37,7	38,0
2,06	32,8	33,0	2,56	34,5	34,7	3,06	36,1	36,4	3,56	37,8	38,0
2,07	32,8	33,1	2,57	34,5	34,8	3,07	36,2	36,4	3,57	37,8	38,1
2,08	32,9	33,1	2,58	34,6	34,8	3,08	36,2	36,5	3,58	37,8	38,1
2,09	32,9	33,1	2,59	34,6	34,8	3,09	36,2	36,5	3,59	37,9	38,1
			2,60	34,6	34,9	3,10	36,3	36,5	3,60	37,9	38,2
2,10	32,9	33,2	2,61	34,7	34,9	3,11	36,3	36,6	3,61	37,9	38,2
2,11	33,0	33,2	2,62	34,7	34,9	3,12	36,3	36,6	3,62	38,0	38,2
2,12	33,0	33,2	2,63	34,7	35,0	3,13	36,4	36,6	3,63	38,0	38,3
2,13	33,0	33,3	2,64	34,8	35,0	3,14	36,4	36,7	3,64	38,0	38,3
2,14	33,1	33,3									
2,15	33,1	33,3	2,65	34,8	35,0	3,15	36,4	36,7	3,65	38,1	38,3
2,16	33,1	33,4	2,66	34,8	35,1	3,16	36,5	36,7	3,66	38,1	38,4
2,17	33,2	33,4	2,67	34,9	35,1	3,17	36,5	36,8	3,67	38,1	38,4
2,18	33,2	33,4	2,68	34,9	35,1	3,18	36,5	36,8	3,68	38,2	38,4
2,19	33,2	33,5	2,69	34,9	35,2	3,19	36,6	36,8	3,69	38,2	38,5
			2,70	35,0	35,2	3,20	36,6	36,9	3,70	38,2	38,5
2,20	33,3	33,5	2,71	35,0	35,2	3,21	36,6	36,9	3,71	38,3	38,5
2,21	33,3	33,5	2,72	35,0	35,3	3,22	36,7	36,9	3,72	38,3	38,6
2,22	33,3	33,6	2,73	35,1	35,3	3,23	36,7	37,0	3,73	38,3	38,6
2,23	33,4	33,6	2,74	35,1	35,3	3,24	36,7	37,0	3,74	38,4	38,6
2,24	33,4	33,6									

TABLA 8.302.14.A (cont.)  
VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
3,75	38,4	38,7	4,25	40,0	40,3	4,75	41,6	41,9	5,25	43,2	43,5
3,76	38,4	38,7	4,26	40,0	40,3	4,76	41,6	41,9	5,26	43,2	43,5
3,77	38,5	38,7	4,27	40,1	40,3	4,77	41,7	41,9	5,27	43,3	43,5
3,78	38,5	38,7	4,28	40,1	40,4	4,78	41,7	42,0	5,28	43,3	43,6
3,79	38,5	38,8	4,29	40,1	40,4	4,79	41,7	42,0	5,29	43,3	43,6
3,80	38,6	38,8	4,30	40,2	40,4	4,80	41,8	42,0	5,30	43,3	43,6
3,81	38,6	38,8	4,31	40,2	40,5	4,81	41,8	42,1	5,31	43,4	43,7
3,82	38,6	38,9	4,32	40,2	40,5	4,82	41,8	42,1	5,32	43,4	43,7
3,83	38,7	38,9	4,33	40,3	40,5	4,83	41,9	42,1	5,33	43,4	43,7
3,84	38,7	38,9	4,34	40,3	40,6	4,84	41,9	42,2	5,34	43,5	43,8
3,85	38,7	39,0	4,35	40,3	40,6	4,85	41,9	42,2	5,35	43,5	43,8
3,86	38,7	39,0	4,36	40,4	40,6	4,86	41,9	42,2	5,36	43,5	43,8
3,87	38,8	39,0	4,37	40,4	40,7	4,87	42,0	42,3	5,37	43,6	43,9
3,88	38,8	39,1	4,38	40,4	40,7	4,88	42,0	42,3	5,38	43,6	43,9
3,89	38,8	39,1	4,39	40,4	40,7	4,89	42,0	42,3	5,39	43,6	43,9
3,90	38,9	39,1	4,40	40,5	40,8	4,90	42,1	42,4	5,40	43,7	44,0
3,91	38,9	39,2	4,41	40,5	40,8	4,91	42,1	42,4	5,41	43,7	44,0
3,92	38,9	39,2	4,42	40,5	40,8	4,92	42,1	42,4	5,42	43,7	44,0
3,93	39,0	39,2	4,43	40,6	40,8	4,93	42,2	42,5	5,43	43,8	44,1
3,94	39,0	39,3	4,44	40,6	40,9	4,94	42,2	42,5	5,44	43,8	44,1
3,95	39,0	39,3	4,45	40,6	40,9	4,95	42,2	42,5	5,45	43,8	44,1
3,96	39,1	39,3	4,46	40,7	40,9	4,96	42,3	42,5	5,46	43,9	44,2
3,97	39,1	39,4	4,47	40,7	41,0	4,97	42,3	42,6	5,47	43,9	44,2
3,98	39,1	39,4	4,48	40,7	41,0	4,98	42,3	42,6	5,48	43,9	44,2
3,99	39,2	39,4	4,49	40,8	41,0	4,99	42,4	42,6	5,49	44,0	44,2
4,00	39,2	39,5	4,50	40,8	41,1	5,00	42,4	42,7	5,50	44,0	44,3
4,01	39,2	39,5	4,51	40,8	41,1	5,01	42,4	42,7	5,51	44,0	44,3
4,02	39,3	39,5	4,52	40,9	41,1	5,02	42,5	42,7	5,52	44,0	44,3
4,03	39,3	39,6	4,53	40,9	41,2	5,03	42,5	42,8	5,53	44,1	44,4
4,04	39,3	39,6	4,54	40,9	41,2	5,04	42,5	42,8	5,54	44,1	44,4
4,05	39,4	39,6	4,55	41,0	41,2	5,05	42,6	42,8	5,55	44,1	44,4
4,06	39,4	39,7	4,56	41,0	41,3	5,06	42,6	42,9	5,56	44,2	44,5
4,07	39,4	39,7	4,57	41,0	41,3	5,07	42,6	42,9	5,57	44,2	44,5
4,08	39,5	39,7	4,58	41,1	41,3	5,08	42,6	42,9	5,58	44,2	44,5
4,09	39,5	39,8	4,59	41,1	41,4	5,09	42,7	43,0	5,59	44,3	44,6
4,10	39,5	39,8	4,60	41,1	41,4	5,10	42,7	43,0	5,60	44,3	44,6
4,11	39,6	39,8	4,61	41,2	41,4	5,11	42,7	43,0	5,61	44,3	44,6
4,12	39,6	39,8	4,62	41,2	41,5	5,12	42,8	43,1	5,62	44,4	44,7
4,13	39,6	39,9	4,63	41,2	41,5	5,13	42,8	43,1	5,63	44,4	44,7
4,14	39,6	39,9	4,64	41,2	41,5	5,14	42,8	43,1	5,64	44,4	44,7
4,15	39,7	39,9	4,65	41,3	41,6	5,15	42,9	43,2	5,65	44,5	44,8
4,16	39,7	40,0	4,66	41,3	41,6	5,16	42,9	43,2	5,66	44,5	44,8
4,17	39,7	40,0	4,67	41,3	41,6	5,17	42,9	43,2	5,67	44,5	44,8
4,18	39,8	40,0	4,68	41,4	41,7	5,18	43,0	43,3	5,68	44,6	44,9
4,19	39,8	40,1	4,69	41,4	41,7	5,19	43,0	43,3	5,69	44,6	44,9
4,20	39,8	40,1	4,70	41,4	41,7	5,20	43,0	43,3	5,70	44,6	44,9
4,21	39,9	40,1	4,71	41,5	41,7	5,21	43,1	43,3	5,71	44,7	45,0
4,22	39,9	40,2	4,72	41,5	41,8	5,22	43,1	43,4	5,72	44,7	45,0
4,23	39,9	40,2	4,73	41,5	41,8	5,23	43,1	43,4	5,73	44,7	45,0
4,24	40,0	40,2	4,74	41,6	41,8	5,24	43,2	43,4	5,74	44,7	45,0

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
5,75	44,8	45,1	6,25	46,4	46,7	6,75	48,0	48,3	7,25	49,6	49,9
5,76	44,8	45,1	6,26	46,4	46,7	6,76	48,0	48,3	7,26	49,6	50,0
5,77	44,8	45,1	6,27	46,4	46,8	6,77	48,0	48,4	7,27	49,7	50,0
5,78	44,9	45,2	6,28	46,5	46,8	6,78	48,1	48,4	7,28	49,7	50,0
5,79	44,9	45,2	6,29	46,5	46,8	6,79	48,1	48,4	7,29	49,7	50,1
5,80	44,9	45,2	6,30	46,5	46,8	6,80	48,1	48,5	7,30	49,8	50,1
5,81	45,0	45,3	6,31	46,6	46,9	6,81	48,2	48,5	7,31	49,8	50,1
5,82	45,0	45,3	6,32	46,6	46,9	6,82	48,2	48,5	7,32	49,8	50,2
5,83	45,0	45,3	6,33	46,6	46,9	6,83	48,2	48,6	7,33	49,9	50,2
5,84	45,1	45,4	6,34	46,7	47,0	6,84	48,3	48,6	7,34	49,9	50,2
5,85	45,1	45,4	6,35	46,7	47,0	6,85	48,3	48,6	7,35	49,9	50,3
5,86	45,1	45,4	6,36	46,7	47,0	6,86	48,3	48,7	7,36	50,0	50,3
5,87	45,2	45,5	6,37	46,8	47,1	6,87	48,4	48,7	7,37	50,0	50,3
5,88	45,2	45,5	6,38	46,8	47,1	6,88	48,4	48,7	7,38	50,0	50,4
5,89	45,2	45,5	6,39	46,8	47,1	6,89	48,4	48,8	7,39	50,1	50,4
5,90	45,3	45,6	6,40	46,9	47,2	6,90	48,5	48,8	7,40	50,1	50,4
5,91	45,3	45,6	6,41	46,9	47,2	6,91	48,5	48,8	7,41	50,1	50,5
5,92	45,3	45,6	6,42	46,9	47,2	6,92	48,5	48,9	7,42	50,2	50,5
5,93	45,4	45,7	6,43	47,0	47,3	6,93	48,6	48,9	7,43	50,2	50,5
5,94	45,4	45,7	6,44	47,0	47,3	6,94	48,6	48,9	7,44	50,2	50,6
5,95	45,4	45,7	6,45	47,0	47,3	6,95	48,6	49,0	7,45	50,3	50,6
5,96	45,4	45,8	6,46	47,0	47,4	6,96	48,7	49,0	7,46	50,3	50,6
5,97	45,5	45,8	6,47	47,1	47,4	6,97	48,7	49,0	7,47	50,3	50,7
5,98	45,5	45,8	6,48	47,1	47,4	6,98	48,7	49,1	7,48	50,3	50,7
5,99	45,5	45,9	6,49	47,1	47,5	6,99	48,8	49,1	7,49	50,4	50,7
6,00	45,6	45,9	6,50	47,2	47,5	7,00	48,8	49,1	7,50	50,4	50,8
6,01	45,6	45,9	6,51	47,2	47,5	7,01	48,8	49,1	7,51	50,4	50,8
6,02	45,6	45,9	6,52	47,2	47,6	7,02	48,9	49,2	7,52	50,5	50,8
6,03	45,7	46,0	6,53	47,3	47,6	7,03	48,9	49,2	7,53	50,5	50,9
6,04	45,7	46,0	6,54	47,3	47,6	7,04	48,9	49,2	7,54	50,5	50,9
6,05	45,7	46,0	6,55	47,3	47,7	7,05	49,0	49,3	7,55	50,6	50,9
6,06	45,8	46,1	6,56	47,4	47,7	7,06	49,0	49,3	7,56	50,6	51,0
6,07	45,8	46,1	6,57	47,4	47,7	7,07	49,0	49,3	7,57	50,6	51,0
6,08	45,8	46,1	6,58	47,4	47,8	7,08	49,0	49,4	7,58	50,7	51,0
6,09	45,9	46,2	6,59	47,5	47,8	7,09	49,1	49,4	7,59	50,7	51,0
6,10	45,9	46,2	6,60	47,5	47,8	7,10	49,1	49,4	7,60	50,7	51,1
6,11	45,9	46,2	6,61	47,5	47,8	7,11	49,1	49,5	7,61	50,8	51,1
6,12	46,0	46,3	6,62	47,6	47,9	7,12	49,2	49,5	7,62	50,8	51,1
6,13	46,0	46,3	6,63	47,6	47,9	7,13	49,2	49,5	7,63	50,8	51,2
6,14	46,0	46,3	6,64	47,6	47,9	7,14	49,2	49,6	7,64	50,9	51,2
6,15	46,1	46,4	6,65	47,7	48,0	7,15	49,3	49,6	7,65	50,9	51,2
6,16	46,1	46,4	6,66	47,7	48,0	7,16	49,3	49,6	7,66	50,9	51,3
6,17	46,1	46,4	6,67	47,7	48,0	7,17	49,3	49,7	7,67	51,0	51,3
6,18	46,2	46,5	6,68	47,8	48,1	7,18	49,4	49,7	7,68	51,0	51,3
6,19	46,2	46,5	6,68	47,8	48,1	7,19	49,4	49,7	7,69	51,0	51,4
6,20	46,2	46,5	6,70	47,8	48,1	7,20	49,4	49,8	7,70	51,1	51,4
6,21	46,2	46,6	6,71	47,9	48,2	7,21	49,5	49,8	7,71	51,1	51,4
6,22	46,3	46,6	6,72	47,9	48,2	7,22	49,5	49,8	7,72	51,1	51,5
6,23	46,3	46,6	6,73	47,9	48,2	7,23	49,5	49,9	7,73	51,2	51,5
6,24	46,3	46,7	6,74	47,9	48,3	7,24	49,6	49,9	7,74	51,2	51,5

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
7,75	51,2	51,6	8,25	52,9	53,2	8,75	54,6	54,9	9,25	56,3	56,6
7,76	51,3	51,6	8,26	52,9	53,3	8,76	54,6	55,0	9,26	56,3	56,7
7,77	51,3	51,6	8,27	53,0	53,3	8,77	54,6	55,0	9,27	56,3	56,7
7,78	51,3	51,7	8,28	53,0	53,3	8,78	54,7	55,0	9,28	56,4	56,7
7,79	51,4	51,7	8,29	53,0	53,4	8,79	54,7	55,1	9,29	56,4	56,8
7,80	51,4	51,7	8,30	53,1	53,4	8,80	54,7	55,1	9,30	56,4	56,8
7,81	51,4	51,8	8,31	53,1	53,4	8,81	54,8	55,1	9,31	56,5	56,8
7,82	51,5	51,8	8,32	53,1	53,5	8,82	54,8	55,2	9,32	56,5	56,9
7,83	51,5	51,8	8,33	53,2	53,5	8,83	54,8	55,2	9,33	56,5	56,9
7,84	51,5	51,9	8,34	53,2	53,5	8,84	54,9	55,2	9,34	56,6	56,9
7,85	51,6	51,9	8,35	53,2	53,6	8,85	54,9	55,3	9,35	56,6	57,0
7,86	51,6	51,9	8,36	53,3	53,6	8,86	54,9	55,3	9,36	56,6	57,0
7,87	51,6	52,0	8,37	53,3	53,6	8,87	55,0	55,3	9,37	56,7	57,0
7,88	51,7	52,0	8,38	53,3	53,7	8,88	55,0	55,4	9,38	56,7	57,1
7,89	51,7	52,0	8,39	53,4	53,7	8,89	55,0	55,4	9,39	56,7	57,1
7,90	51,7	52,1	8,40	53,4	53,7	8,90	55,1	55,4	9,40	56,8	57,1
7,91	51,8	52,1	8,41	53,4	53,8	8,91	55,1	55,5	9,41	56,8	57,2
7,92	51,8	52,1	8,42	53,5	53,8	8,92	55,1	55,5	9,42	56,8	57,2
7,93	51,8	52,2	8,43	53,5	53,8	8,93	55,2	55,5	9,43	56,9	57,2
7,94	51,9	52,2	8,44	53,5	53,9	8,94	55,2	55,6	9,44	56,9	57,3
7,95	51,9	52,2	8,45	53,6	53,9	8,95	55,2	55,6	9,45	56,9	57,3
7,96	51,9	52,3	8,46	53,6	53,9	8,96	55,3	55,6	9,46	57,0	57,4
7,97	52,0	52,3	8,47	53,6	54,0	8,97	55,3	55,7	9,47	57,0	57,4
7,98	52,0	52,3	8,48	53,7	54,0	8,98	55,3	55,7	9,48	57,0	57,4
7,99	52,0	52,4	8,49	53,7	54,0	8,99	55,4	55,7	9,49	57,1	57,5
8,00	52,1	52,4	8,50	53,7	54,1	9,00	55,4	55,8	9,50	57,1	57,5
8,01	52,1	52,4	8,51	53,8	54,1	9,01	55,4	55,8	9,52	57,2	57,6
8,02	52,1	52,5	8,52	53,8	54,1	9,02	55,5	55,8	9,54	57,2	57,6
8,03	52,2	52,5	8,53	53,8	54,2	9,03	55,5	55,9	9,56	57,3	57,7
8,04	52,2	52,5	8,54	53,9	54,2	9,04	55,5	55,9	9,58	57,4	57,8
8,05	52,2	52,6	8,55	53,9	54,2	9,05	55,6	55,9	9,60	57,5	57,8
8,06	52,3	52,6	8,56	53,9	54,3	9,06	55,6	56,0	9,62	57,5	57,9
8,07	52,3	52,6	8,57	54,0	54,3	9,07	55,6	56,0	9,64	57,6	58,0
8,08	52,3	52,7	8,58	54,0	54,3	9,08	55,7	56,0	9,66	57,7	58,0
8,09	52,4	52,7	8,59	54,0	54,4	9,09	55,7	56,1	9,68	57,7	58,1
8,10	52,4	52,7	8,60	54,1	54,4	9,10	55,7	56,1	9,70	57,8	58,2
8,11	52,4	52,8	8,61	54,1	54,5	9,11	55,8	56,1	9,72	57,9	58,3
8,12	52,5	52,8	8,62	54,1	54,5	9,12	55,8	56,2	9,74	57,9	58,3
8,13	52,5	52,8	8,63	54,2	54,5	9,13	55,8	56,2	9,76	58,0	58,4
8,14	52,5	52,9	8,64	54,2	54,6	9,14	55,9	56,3	9,78	58,1	58,5
8,15	52,6	52,9	8,65	54,2	54,6	9,15	55,9	56,3	9,80	58,1	58,5
8,16	52,6	52,9	8,66	54,3	54,6	9,16	55,9	56,3	9,82	58,2	58,6
8,17	52,6	53,0	8,67	54,3	54,7	9,17	56,0	56,4	9,84	58,3	58,7
8,18	52,7	53,0	8,68	54,3	54,7	9,18	56,0	56,4	9,86	58,4	58,7
8,19	52,7	53,0	8,69	54,4	54,7	9,19	56,0	56,4	9,88	58,4	58,8
8,20	52,7	53,1	8,70	54,4	54,8	9,20	56,1	56,5	9,90	58,5	58,9
8,21	52,8	53,1	8,71	54,4	54,8	9,21	56,1	56,5	9,92	58,6	59,0
8,22	52,8	53,1	8,72	54,5	54,8	9,22	56,2	56,5	9,94	58,6	59,0
8,23	52,8	53,2	8,73	54,5	54,9	9,23	56,2	56,6	9,96	58,7	59,1
8,24	52,9	53,2	8,74	54,5	54,9	9,24	56,2	56,6	9,98	58,8	59,2

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
10,00	58,8	59,2	11,0	62,4	62,8	12,00	66,0	66,4	13,00	69,7	70,2
10,02	58,9	59,3	11,02	62,4	62,9	12,02	66,1	66,5	13,02	69,8	70,3
10,04	59,0	59,4	11,04	62,5	62,9	12,04	66,1	66,6	13,04	69,9	70,3
10,06	59,0	59,4	11,06	62,6	63,0	12,06	66,2	66,7	13,06	69,9	70,4
10,08	59,1	59,5	11,08	62,7	63,1	12,08	66,3	66,7	13,08	70,0	70,5
10,10	59,2	59,6	11,10	62,7	63,1	12,10	66,4	66,8	13,10	70,1	70,6
10,12	59,3	59,7	11,12	62,8	63,2	12,12	66,4	66,9	13,12	70,2	70,6
10,14	59,3	59,7	11,14	62,9	63,3	12,14	66,5	67,0	13,14	70,2	70,7
10,16	59,4	59,8	11,16	62,9	63,4	12,16	66,6	67,0	13,16	70,3	70,8
10,18	59,5	59,9	11,18	63,0	63,4	12,18	66,7	67,1	13,18	70,4	70,9
10,20	59,5	59,9	11,20	63,1	63,5	12,20	66,7	67,2	13,20	70,5	70,9
10,22	59,6	60,0	11,22	63,2	63,6	12,22	66,8	67,2	13,22	70,5	71,0
10,24	59,7	60,1	11,24	63,2	63,7	12,24	66,9	67,8	13,24	70,6	71,1
10,26	59,7	60,1	11,26	63,3	63,7	12,26	66,9	67,4	13,26	70,7	71,2
10,28	59,8	60,2	11,28	63,4	63,8	12,28	67,0	67,5	13,28	70,8	71,2
10,30	59,9	60,3	11,30	63,4	63,9	12,30	67,1	67,5	13,30	70,8	71,3
10,32	60,0	60,4	11,32	63,5	63,9	12,32	67,2	67,6	13,32	70,9	71,4
10,34	60,0	60,4	11,34	63,6	64,0	12,34	67,2	67,7	13,34	71,0	71,5
10,36	60,1	60,5	11,36	63,7	64,1	12,36	67,3	67,8	13,36	71,1	71,5
10,38	60,2	60,6	11,38	63,7	64,2	12,38	67,4	67,8	13,38	71,1	71,6
10,40	60,2	60,6	11,40	63,8	64,2	12,40	67,5	67,9	13,40	71,2	71,7
10,42	60,3	60,7	11,42	63,9	64,3	12,42	67,5	68,0	13,42	71,3	71,8
10,44	60,4	60,8	11,44	63,9	64,4	12,44	67,6	68,1	13,44	71,4	71,9
10,46	60,4	60,9	11,46	64,0	64,5	12,46	67,7	68,1	13,46	71,4	71,9
10,48	60,5	60,9	11,48	64,1	64,5	12,48	67,8	68,2	13,48	71,5	72,0
10,50	60,6	61,0	11,50	64,2	64,6	12,50	67,8	68,3	13,50	71,6	72,1
10,52	60,7	61,1	11,52	64,2	64,7	12,52	67,9	68,4	13,52	71,7	72,2
10,54	60,7	61,1	11,54	64,3	64,7	12,54	68,0	68,4	13,54	71,8	72,2
10,56	60,8	61,2	11,56	64,4	64,8	12,56	68,1	68,5	13,56	71,8	72,3
10,58	60,9	61,3	11,58	64,5	64,9	12,58	68,1	68,6	13,58	71,9	72,4
10,60	60,9	61,4	11,60	64,5	65,0	12,60	68,2	68,7	13,60	72,0	72,5
10,62	61,0	61,4	11,62	64,6	65,0	12,62	68,3	68,7	13,62	72,1	72,5
10,64	61,1	61,5	11,64	64,7	65,1	12,64	68,4	68,8	13,64	72,1	72,6
10,66	61,2	61,6	11,66	64,7	65,2	12,66	68,4	68,9	13,66	72,2	72,7
10,68	61,2	61,6	11,68	64,8	65,3	12,68	68,4	69,0	13,68	72,3	72,8
10,70	61,3	61,7	11,70	64,9	65,3	12,70	68,6	69,0	13,70	72,4	72,8
10,72	61,4	61,8	11,72	65,0	65,4	12,72	68,7	69,1	13,72	72,4	72,9
10,74	61,4	61,9	11,74	65,0	65,5	12,74	68,7	69,2	13,74	72,5	73,0
10,76	61,5	61,9	11,76	65,1	65,5	12,76	68,8	69,3	13,76	72,6	73,1
10,78	61,6	62,0	11,78	65,2	65,6	12,78	68,9	69,3	13,78	72,7	73,2
10,80	61,7	62,1	11,80	65,3	65,7	12,80	69,0	69,4	13,80	72,7	73,2
10,82	61,7	62,1	11,82	65,3	65,8	12,82	69,0	69,5	13,82	72,8	73,3
10,84	61,8	62,2	11,84	65,4	65,8	12,84	69,1	69,6	13,84	72,9	73,4
10,86	61,9	62,3	11,86	65,5	65,9	12,86	69,2	69,6	13,86	73,0	73,5
10,88	61,9	62,4	11,88	65,6	66,0	12,88	69,3	69,7	13,88	73,1	73,5
10,90	62,0	62,4	11,90	65,6	66,1	12,90	69,3	69,8	13,90	73,1	73,6
10,92	62,1	62,5	11,92	65,7	66,1	12,92	69,4	69,9	13,92	73,2	73,7
10,94	62,2	62,6	11,94	65,8	66,2	12,94	69,5	69,9	13,94	73,3	73,8
10,96	62,2	62,6	11,96	65,8	66,3	12,96	69,6	70,0	13,96	73,4	73,9
10,98	62,3	62,7	11,98	65,9	66,4	12,98	69,6	70,1	13,98	73,4	73,9

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
14,00	73,5	74,0	15,00	77,4	77,9	16,00	81,4	81,9	17,00	85,4	86,0
14,02	73,6	74,1	15,02	77,5	78,0	16,02	81,4	82,0	17,02	85,5	86,0
14,04	73,7	74,2	15,04	77,6	78,1	16,04	81,5	82,1	17,04	85,6	86,1
14,06	73,7	74,2	15,06	77,6	78,2	16,06	81,6	82,2	17,06	85,6	86,2
14,08	73,8	74,3	15,08	77,7	78,2	16,08	81,7	82,2	17,08	85,7	86,3
14,10	73,9	74,4	15,10	78,3	78,3	16,10	81,8	82,3	17,10	85,8	86,4
14,12	74,0	74,5	15,12	78,4	78,4	16,12	81,8	82,4	17,12	85,9	86,5
14,14	74,1	74,6	15,14	78,5	78,5	16,14	81,9	82,5	17,14	86,0	86,5
14,16	74,1	74,6	15,16	78,6	78,6	16,16	82,0	82,6	17,16	86,0	86,6
14,18	74,2	74,7	15,18	78,6	78,6	16,18	82,1	82,6	17,18	86,1	86,7
14,20	74,3	74,8	15,20	78,7	78,7	16,20	82,2	82,7	17,20	86,2	86,8
14,22	74,4	74,9	15,22	78,8	78,8	16,22	82,2	82,8	17,22	86,3	86,9
14,24	74,4	74,9	15,24	78,9	78,9	16,24	82,3	82,9	17,24	86,4	86,9
14,26	74,5	75,0	15,26	79,0	79,0	16,26	82,4	83,0	17,26	86,5	87,0
14,28	74,6	75,1	15,28	79,0	79,0	16,28	82,5	83,0	17,28	86,5	87,1
14,30	74,7	75,2	15,30	79,1	79,1	16,30	82,6	83,1	17,30	86,6	87,2
14,32	74,7	75,3	15,32	79,2	79,2	16,32	82,6	83,2	17,32	86,7	87,3
14,34	74,8	75,3	15,34	79,3	79,3	16,34	82,7	83,3	17,34	86,8	87,4
14,36	74,9	75,4	15,36	79,3	79,3	16,36	82,8	83,4	17,36	86,9	87,4
14,38	75,0	75,5	15,38	79,4	79,4	16,38	82,9	83,4	17,38	86,9	87,5
14,40	75,1	75,6	15,40	79,5	79,5	16,40	83,0	83,5	17,40	87,0	87,2
14,42	75,1	75,6	15,42	79,6	79,6	16,42	83,0	83,6	17,42	87,1	87,3
14,44	75,2	75,7	15,44	79,7	79,7	16,44	83,1	83,7	17,44	87,2	87,4
14,46	75,3	75,8	15,46	79,7	79,7	16,46	83,2	83,8	17,46	87,3	87,4
14,48	75,4	75,9	15,48	79,8	79,8	16,48	83,3	83,8	17,48	87,3	87,5
14,50	75,4	76,0	15,50	79,9	79,9	16,50	83,4	83,9	17,50	87,4	87,6
14,52	75,5	76,0	15,52	80,0	80,0	16,52	83,5	84,0	17,52	87,5	87,7
14,54	75,6	76,1	15,54	80,1	80,1	16,54	83,5	84,1	17,54	87,6	87,8
14,56	75,7	76,2	15,56	80,1	80,1	16,56	83,6	84,2	17,56	87,7	87,9
14,58	75,8	76,3	15,58	80,2	80,2	16,58	83,7	84,3	17,58	87,8	87,9
14,60	75,8	76,3	15,60	80,3	80,3	16,60	83,8	84,3	17,60	87,8	88,0
14,62	75,9	76,4	15,62	80,4	80,4	16,62	83,9	84,4	17,62	87,9	88,1
14,64	76,0	76,5	15,64	80,5	80,5	16,64	83,9	84,5	17,64	88,0	88,2
14,66	76,1	76,6	15,66	80,5	80,5	16,66	84,0	84,6	17,66	88,1	88,3
14,68	76,1	76,7	15,68	80,6	80,6	16,68	84,1	84,7	17,68	88,2	88,3
14,70	76,2	76,7	15,70	80,7	80,7	16,70	84,2	84,7	17,70	88,3	88,4
14,72	76,3	76,8	15,72	80,8	80,8	16,72	84,3	84,8	17,72	88,3	88,5
14,74	76,4	76,9	15,74	80,9	80,9	16,74	84,3	84,9	17,74	88,4	88,6
14,76	76,5	77,0	15,76	80,9	80,9	16,76	84,4	85,0	17,76	88,5	88,7
14,78	76,5	77,1	15,78	81,0	81,0	16,78	84,5	85,1	17,78	88,6	88,8
14,80	76,6	77,1	15,80	81,1	81,1	16,80	84,6	85,1	17,80	88,7	88,8
14,82	76,7	77,2	15,82	81,2	81,2	16,82	84,7	85,2	17,82	88,7	88,9
14,84	76,8	77,3	15,84	81,3	81,3	16,84	84,7	85,3	17,84	88,8	89,0
14,86	76,9	77,4	15,86	81,3	81,3	16,86	84,8	85,4	17,86	88,9	89,1
14,88	76,9	77,4	15,88	81,4	81,4	16,88	84,9	85,5	17,88	89,0	89,2
14,90	77,0	77,5	15,90	81,5	81,5	16,90	85,0	85,6	17,90	89,1	89,3
14,92	77,1	77,6	15,92	81,6	81,6	16,92	85,1	85,6	17,92	89,2	89,3
14,94	77,2	77,7	15,94	81,7	81,7	16,94	85,1	85,7	17,94	89,2	89,4
14,96	77,2	77,8	15,96	81,7	81,7	16,96	85,2	85,8	17,96	89,3	89,5
14,98	77,3	77,3	15,98	81,8	81,8	16,98	85,3	85,9	17,98	89,4	89,6

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. CSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
18,00	89,5	90,1	19,00	93,6	94,3	20,00	97,8	98,5	22,50	108,5	109,2
18,02	89,6	90,2	19,02	93,7	94,3	20,05	98,0	98,7	22,55	108,7	109,4
18,04	89,6	92,0	19,04	93,8	94,4	20,10	98,2	98,9	22,60	108,9	109,6
18,06	89,7	90,3	19,06	93,9	94,5	20,15	98,5	98,1	22,65	109,1	109,9
18,08	89,8	90,4	19,08	94,0	94,6	20,20	98,7	99,3	22,70	109,4	110,1
18,10	89,9	90,5	19,10	94,0	94,7	20,25	98,9	99,5	22,75	109,6	110,3
18,12	90,0	90,6	19,12	94,1	94,8	20,30	99,1	99,8	22,80	109,8	110,5
18,14	90,1	90,7	19,14	94,2	94,8	20,35	99,3	100,0	22,85	110,0	110,7
18,16	90,1	90,7	19,16	94,3	94,9	20,40	99,5	100,2	22,90	110,2	111,0
18,18	90,2	90,8	19,18	94,4	95,0	20,45	99,7	100,4	22,95	110,4	111,2
18,20	90,3	90,9	19,20	94,5	95,1	20,50	99,9	100,6	23,00	110,6	111,4
18,22	90,4	91,0	19,22	94,5	95,2	20,55	100,1	100,8	23,05	110,9	111,6
18,24	90,5	91,1	19,24	94,6	95,3	20,60	100,4	101,0	23,10	111,1	111,8
18,26	90,6	91,2	19,26	94,7	95,4	20,65	100,6	101,2	23,15	111,3	112,0
18,28	90,6	91,2	19,28	94,8	95,4	20,70	100,8	101,5	23,20	111,5	112,3
18,30	90,7	91,3	19,30	94,9	95,5	20,75	101,0	101,7	23,25	111,7	112,5
18,32	90,8	91,4	19,32	95,0	95,6	20,80	101,2	101,9	23,30	111,9	112,7
18,34	90,9	91,5	19,34	95,0	95,7	20,85	101,4	102,1	23,35	112,2	112,9
18,36	91,0	91,6	19,36	95,1	95,8	20,90	101,6	102,3	23,40	112,4	113,1
18,38	91,1	91,7	19,38	95,2	95,9	20,95	101,8	102,5	23,45	112,6	113,4
18,40	91,1	91,7	19,40	95,3	95,9	21,00	102,1	102,7	23,50	112,8	113,6
18,42	91,2	91,8	19,42	95,4	96,0	21,05	102,3	103,0	23,55	113,0	113,8
18,44	91,3	91,9	19,44	95,5	96,1	21,10	102,5	103,2	23,60	113,2	114,0
18,46	91,4	92,0	19,46	95,6	96,2	21,15	102,7	103,4	23,65	113,5	114,2
18,48	91,5	92,1	19,48	95,6	96,3	21,20	102,9	103,6	23,70	113,7	114,4
18,50	91,5	92,2	19,50	95,7	96,4	21,25	103,1	103,8	23,75	113,9	114,7
18,52	91,6	92,2	19,52	95,8	96,4	21,30	103,3	104,0	22,80	114,1	114,9
18,54	91,7	92,3	19,54	95,9	96,5	21,35	103,6	104,2	23,85	114,3	115,1
18,56	91,8	92,4	19,56	96,0	96,6	21,40	103,8	104,5	23,90	114,6	115,3
18,58	91,9	92,5	19,58	96,1	96,7	21,45	104,0	104,7	23,95	114,8	115,5
18,60	92,0	92,6	19,60	96,1	96,8	21,50	104,2	104,9	24,00	115,0	115,8
18,62	92,0	92,7	19,62	96,2	96,9	21,55	104,4	105,1	24,05	115,2	116,0
18,64	92,1	92,7	19,64	96,3	97,0	21,60	104,6	105,3	24,10	115,4	116,2
18,66	92,2	92,8	19,66	96,4	97,0	21,65	104,8	105,5	24,15	115,6	116,4
18,68	92,3	92,9	19,68	96,5	97,1	21,70	105,0	105,8	24,20	115,9	116,6
18,70	92,4	93,0	19,70	96,6	97,2	21,75	105,3	106,0	24,25	116,1	116,9
18,72	92,5	93,1	19,72	96,6	97,3	21,80	105,5	106,2	24,30	116,3	117,1
18,74	92,5	93,2	19,74	96,7	97,4	21,85	105,7	106,4	24,35	116,5	117,3
18,76	92,6	93,3	19,76	96,8	97,5	21,90	105,9	106,6	24,40	116,7	117,5
18,78	92,7	93,3	19,78	96,9	97,5	21,95	106,1	106,8	24,45	117,0	117,7
18,80	92,8	93,4	19,80	97,0	97,6	22,00	106,3	107,0	24,50	117,2	118,0
18,82	92,9	93,5	19,82	97,1	97,7	22,05	106,6	107,3	24,55	117,4	118,2
18,84	93,0	93,6	19,84	97,1	97,8	22,10	106,8	107,5	24,60	117,6	118,4
18,86	93,0	93,7	19,86	97,2	97,9	22,15	107,0	107,7	24,65	117,8	118,6
18,88	93,1	93,8	19,88	97,3	98,0	22,20	107,2	107,9	24,70	118,0	118,8
18,90	93,2	93,8	19,90	97,4	98,1	22,25	107,4	108,1	24,75	118,3	119,1
18,92	93,3	93,9	19,92	97,5	98,1	22,30	107,6	108,3	24,80	118,5	119,3
18,94	93,4	94,0	19,94	97,6	98,2	22,35	107,8	108,6	24,85	118,7	119,5
18,96	93,5	94,1	19,96	97,7	98,3	22,40	108,1	108,8	24,90	118,9	119,7
18,98	93,5	94,2	19,98	97,7	98,4	22,45	108,3	109,0	24,95	119,1	119,9

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
25,00	119,4	120,2	27,50	130,4	131,3	30,00	141,5	142,5	32,50	152,7	153,8
25,05	119,6	120,4	27,55	130,6	131,5	30,05	141,7	142,7	32,55	153,0	154,0
25,10	119,8	120,6	27,60	130,8	131,7	30,10	142,0	142,9	32,60	153,2	154,2
25,15	120,0	120,8	27,65	131,0	131,9	30,15	142,2	143,1	32,65	153,4	154,4
25,20	120,2	121,0	27,70	131,3	132,1	30,20	142,4	143,4	32,70	153,6	154,7
25,25	120,5	121,3	27,75	131,5	132,4	30,25	142,6	143,6	32,75	153,9	154,9
25,30	120,7	121,5	27,80	131,7	132,6	30,30	142,9	143,8	32,80	154,1	155,1
25,35	120,9	121,7	27,85	131,9	132,8	30,35	143,1	144,0	32,85	154,3	155,4
25,40	121,1	121,9	27,90	132,2	133,0	30,40	143,3	144,3	32,90	154,5	155,6
20,45	121,3	122,1	27,95	132,4	133,3	30,45	143,5	144,5	32,95	154,8	155,8
25,50	121,6	122,4	28,00	132,6	133,5	30,50	143,8	144,7	33,00	155,0	156,0
25,55	121,8	122,6	28,05	132,8	133,7	30,55	144,0	144,9	33,05	155,2	156,3
25,60	122,0	122,8	28,10	133,0	133,9	30,60	144,2	145,2	33,10	155,4	156,5
25,65	122,2	123,0	28,15	133,3	134,2	30,65	144,4	145,4	33,15	155,7	156,7
25,70	122,4	123,3	28,20	133,5	134,4	30,70	144,6	145,6	33,20	155,9	156,9
25,75	122,6	123,5	28,25	133,7	134,6	30,75	144,9	145,8	33,25	156,1	157,2
25,80	122,9	123,7	28,30	133,9	134,8	30,80	145,1	146,1	33,30	156,3	157,4
25,85	123,1	123,9	28,35	134,2	135,1	30,85	145,3	146,3	33,35	156,6	157,6
25,90	123,3	124,1	28,40	134,4	135,3	30,90	145,5	146,5	33,40	156,8	157,8
25,95	123,5	124,4	28,45	134,6	135,5	30,95	145,8	146,7	33,45	157,0	158,1
26,00	123,7	124,6	28,50	134,8	135,7	31,00	146,0	147,0	33,50	157,2	158,3
26,05	124,0	124,8	28,55	135,0	135,9	31,05	146,2	147,2	33,55	157,5	158,5
26,10	124,2	125,0	28,60	135,3	136,2	31,10	146,4	147,4	33,60	157,7	158,8
26,15	124,2	125,2	28,65	135,5	136,4	31,15	146,7	147,7	33,65	157,9	159,0
26,20	124,6	125,5	28,70	135,7	136,6	31,20	146,9	147,9	33,70	158,2	159,2
26,25	124,9	125,7	28,75	135,9	136,8	31,25	147,1	148,1	33,75	158,4	159,4
26,30	125,1	125,9	28,80	136,2	137,1	31,30	147,3	148,3	33,80	158,6	159,7
26,35	125,3	126,1	28,85	136,4	137,3	31,35	147,6	148,6	33,85	158,8	159,9
26,40	125,5	126,4	28,90	136,6	137,5	31,40	147,8	148,8	33,90	159,1	160,1
26,45	125,7	126,6	28,95	136,8	137,7	31,45	148,0	149,0	33,95	159,3	160,3
26,50	126,0	126,8	29,00	137,0	138,0	31,50	148,2	149,2	34,00	159,5	160,6
26,55	126,2	127,0	29,05	137,3	138,2	31,55	148,5	149,5	34,05	159,7	160,8
26,60	126,4	127,2	29,10	137,5	138,4	31,60	148,7	149,7	34,10	160,0	161,0
26,65	126,6	127,5	29,15	137,7	138,6	31,65	148,9	149,9	34,15	160,2	161,3
26,70	126,8	127,7	29,20	137,9	138,9	31,70	149,1	150,1	34,20	160,4	161,5
26,75	127,1	127,9	29,25	138,2	139,1	31,75	149,4	150,4	34,25	160,6	161,7
26,80	127,3	128,1	29,30	138,4	139,3	31,80	149,6	150,6	34,30	160,9	161,9
26,85	127,5	128,4	29,35	138,6	139,5	31,85	149,8	150,8	34,35	161,1	162,2
26,90	127,7	128,6	29,40	138,8	139,8	31,90	150,0	151,0	34,40	161,3	162,4
26,95	127,9	128,8	29,45	139,1	140,0	31,95	150,3	151,3	34,45	161,5	162,6
27,00	128,2	129,0	29,50	139,3	140,2	32,00	150,5	151,5	34,50	161,8	162,9
27,05	128,4	129,2	29,55	139,5	140,4	32,05	150,7	151,7	34,55	162,0	163,1
27,10	128,6	129,5	29,60	139,7	140,7	32,10	150,9	152,0	34,60	162,2	163,3
27,15	128,8	129,7	29,65	140,0	140,9	32,15	151,2	152,2	34,65	162,4	163,5
27,20	129,0	129,9	29,70	140,2	141,1	32,20	151,4	152,4	34,70	162,7	163,8
27,25	129,3	130,1	29,75	140,4	141,3	32,25	151,6	152,6	34,75	162,9	164,0
27,30	129,5	130,4	29,80	140,6	141,6	32,30	151,8	152,9	34,80	163,1	164,2
27,35	129,7	130,6	29,85	140,8	141,8	32,35	152,1	153,1	34,85	163,3	164,4
27,40	129,9	130,8	29,90	141,1	142,0	32,40	152,3	153,3	34,90	163,6	164,7
27,45	130,2	131,0	29,95	141,3	142,2	32,45	152,5	153,5	34,95	163,8	164,9

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
35,00	164,0	165,1	37,50	175,4	176,5	40,00	186,8	188,0	42,50	198,2	199,5
35,05	164,3	165,4	37,55	175,6	176,8	40,05	187,0	188,2	42,55	198,4	199,7
35,10	164,5	165,6	37,60	175,8	177,0	40,10	187,2	188,5	42,60	198,6	200
35,15	164,7	165,8	37,65	176,1	177,2	40,15	187,4	188,7	42,65	198,9	200
35,20	164,9	166,0	37,70	176,3	177,5	40,20	187,7	188,9	42,70	199,1	200
35,25	165,2	166,3	37,75	176,5	177,7	40,25	187,9	189,2	42,75	199,3	200
35,30	165,4	166,5	37,80	176,7	177,9	40,30	188,1	189,4	42,80	199,5	200
35,35	165,6	166,7	37,85	177,0	178,1	40,35	188,4	189,6	42,85	199,8	201
35,40	165,8	167,0	37,90	177,2	178,4	40,40	188,6	189,8	42,90	200	201
35,45	166,1	167,2	37,95	177,4	178,6	40,45	188,8	190,1	42,95	200	201
35,50	166,3	167,4	38,00	177,6	178,8	40,50	189,0	190,3	43,00	200	201
35,55	166,5	167,6	38,05	177,9	179,1	40,55	189,3	190,5	43,05	201	202
35,60	166,7	167,9	38,10	178,1	179,3	40,60	189,5	190,8	43,10	201	202
35,65	167,0	168,1	38,15	178,3	179,5	40,65	189,7	191,0	43,15	201	202
35,70	167,2	168,3	38,20	178,6	179,8	40,70	189,9	191,2	43,20	201	202
35,75	167,4	168,6	38,25	178,8	180,0	40,75	190,2	191,5	43,25	202	202
35,80	167,7	168,8	38,30	179,0	180,2	40,80	190,4	191,7	43,30	202	203
35,85	167,9	169,0	38,35	179,2	180,4	40,85	190,6	191,9	43,35	202	203
35,90	168,1	169,2	38,40	179,5	180,7	40,90	190,9	192,1	43,40	202	203
35,95	168,3	169,5	38,45	179,7	180,9	40,95	191,1	192,4	43,45	203	203
36,00	168,6	169,7	38,50	179,9	181,1	41,00	191,3	192,6	43,50	203	204
36,05	168,8	169,9	38,55	180,1	181,4	41,05	191,5	192,8	43,55	203	204
36,10	169,0	170,1	38,60	180,4	181,6	41,10	191,8	193,1	43,60	203	204
36,15	169,2	170,4	38,65	180,6	181,8	41,15	192,0	193,3	43,65	203	204
36,20	169,5	170,6	38,70	180,8	182,0	41,20	192,2	193,5	43,70	204	205
36,25	169,7	170,8	38,75	181,1	182,3	41,25	192,5	193,7	43,75	204	205
36,30	169,9	171,7	38,80	181,3	182,5	41,30	192,7	194,0	43,80	204	205
36,35	170,1	171,3	38,85	181,5	182,7	41,35	192,9	194,2	43,85	204	205
36,40	170,4	171,5	38,90	181,7	183,0	41,40	193,1	194,4	43,90	205	205
36,45	170,6	171,7	38,95	182,0	183,2	41,45	193,4	194,7	43,95	205	206
36,50	170,8	172,0	39,00	182,2	183,4	41,50	193,6	194,9	44,00	205	206
36,55	171,7	172,2	39,05	182,4	183,6	41,55	193,8	195,1	44,05	205	206
36,60	171,3	172,4	39,10	182,7	183,9	41,60	194,1	195,4	44,10	205	206
36,65	171,5	172,7	39,15	182,9	184,1	41,65	194,3	195,6	44,15	206	207
36,70	171,7	172,9	39,20	183,1	184,3	41,70	194,5	195,8	44,20	206	207
36,75	172,0	173,1	39,25	183,3	184,6	41,75	194,7	196,0	44,25	206	207
36,80	172,2	173,3	39,30	183,6	184,8	41,80	195,0	196,3	44,30	206	207
36,85	172,4	173,6	39,35	183,8	185,0	41,85	195,2	196,5	44,35	207	208
36,90	172,7	173,8	39,40	184,0	185,0	41,90	195,4	196,7	44,40	207	208
36,95	172,9	174,0	39,45	184,2	185,5	41,95	195,7	197,0	44,45	207	208
37,00	173,1	174,3	39,50	184,5	185,7	42,00	195,9	197,2	44,50	207	208
37,05	173,3	174,5	39,55	184,7	185,9	42,05	196,1	197,4	44,55	208	208
37,10	173,6	174,7	39,60	184,9	186,2	42,10	196,3	197,7	44,60	208	209
37,15	173,8	174,9	39,65	185,2	186,4	42,15	196,6	197,9	44,65	208	209
37,20	174,0	175,2	39,70	185,4	186,6	42,20	196,8	198,1	44,70	208	209
37,25	174,3	175,4	39,75	185,6	186,9	42,25	197,0	198,3	44,75	208	209
37,30	174,5	175,6	39,80	185,8	187,1	42,30	197,3	198,6	44,80	209	210
37,35	174,7	175,9	39,85	186,1	187,3	42,35	197,5	198,8	44,85	209	210
37,40	174,9	176,1	39,90	186,3	187,5	42,40	197,7	199,0	44,90	209	210
37,45	175,2	176,3	39,95	186,5	187,8	42,45	197,9	199,3	44,95	209	210

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
45,00	210	211	47,50	221	222	50,0	233	234	55,0	256	257
45,05	210	211	47,55	221	222	50,1	233	234	55,1	256	257
45,10	210	211	47,60	222	223	50,2	233	235	55,2	256	258
45,15	210	211	47,65	222	223	50,3	234	235	55,3	257	258
45,20	211	211	47,70	222	223	50,4	234	235	55,4	257	259
45,25	211	212	47,75	222	223	50,5	235	236	55,5	258	259
45,30	211	212	47,80	222	223	50,6	235	236	55,6	258	260
45,35	211	212	47,85	223	224	50,7	236	237	55,7	259	260
45,40	211	212	47,90	223	224	50,8	236	237	55,8	259	260
45,45	212	213	47,95	223	224	50,9	237	238	55,9	260	261
45,50	212	213	48,00	223	224	51,0	237	238	56,0	260	261
45,55	212	213	48,05	224	225	51,1	238	239	56,1	261	262
45,60	212	213	48,10	224	225	51,2	238	239	56,2	261	262
45,65	213	214	48,15	224	225	51,3	239	240	56,3	262	263
45,70	213	214	48,20	224	225	51,4	239	240	56,4	262	263
45,75	213	214	48,25	225	226	51,5	239	241	56,5	262	264
45,80	213	214	49,30	225	226	51,6	240	241	56,6	263	264
45,85	214	214	48,35	225	226	51,7	240	241	56,7	263	265
45,90	214	215	48,40	225	226	51,8	241	242	56,8	264	265
45,95	214	215	48,45	225	226	51,9	241	242	56,9	264	266
46,00	214	215	48,50	226	227	52,0	242	243	57,0	265	266
46,05	214	215	48,55	226	227	52,1	242	243	57,1	265	266
46,10	215	216	48,60	226	227	52,2	243	244	57,2	266	267
46,15	215	216	48,65	226	227	52,3	243	244	57,3	266	267
46,20	215	216	48,70	227	228	52,4	244	245	57,4	267	268
46,25	215	216	48,75	227	228	52,5	244	245	57,5	267	268
46,30	216	217	48,80	227	228	52,6	245	246	57,6	268	269
46,35	216	217	48,85	227	228	52,7	245	246	57,7	268	269
46,40	216	217	48,90	227	229	52,8	245	247	57,8	268	270
46,45	216	217	48,95	228	229	52,9	246	247	57,9	269	270
46,50	216	217	49,00	228	229	53,0	246	247	58,0	269	271
46,55	217	218	49,05	228	229	53,1	247	248	58,1	270	271
46,60	217	218	49,10	228	229	53,2	247	248	58,2	270	272
46,65	217	218	49,15	229	230	53,3	248	249	58,3	271	272
46,70	217	218	49,20	229	230	53,4	248	249	58,4	271	273
46,75	218	219	49,25	229	230	53,5	249	250	58,5	272	273
46,80	218	219	49,30	229	230	53,6	249	250	58,6	272	273
46,85	218	219	49,35	230	231	53,7	250	251	58,7	273	274
46,90	218	219	49,40	230	231	53,8	250	251	58,8	273	274
46,95	219	220	49,45	230	231	53,9	250	252	58,9	273	274
47,00	219	220	49,50	230	231	54,0	251	252	59,0	274	275
47,05	219	220	49,55	230	232	54,1	251	253	59,1	274	276
47,10	219	220	49,60	231	232	54,2	252	253	59,2	275	276
47,15	219	220	49,65	231	232	54,3	252	254	59,3	275	277
47,20	220	221	49,70	231	232	54,4	253	254	59,4	276	277
47,25	220	221	49,75	231	232	54,5	253	254	59,5	276	278
47,30	220	221	49,80	232	233	54,6	254	255	59,6	277	278
47,35	220	221	49,85	232	233	54,7	254	255	59,7	277	279
47,40	221	222	49,90	232	233	54,8	255	256	59,8	278	279
47,45	221	222	49,95	232	233	54,9	255	256	59,9	278	279

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
60,0	279	280	65,0	302	303	70,0	325	326	75,0	348	350
60,1	279	280	65,1	302	304	70,1	325	327	75,1	348	350
60,2	280	281	65,2	303	304	70,2	326	327	75,2	349	351
60,3	280	281	65,3	303	305	70,3	326	328	75,3	349	351
60,4	280	282	65,4	303	305	70,4	327	328	75,4	350	352
60,5	281	282	65,5	304	305	70,5	327	329	75,5	350	352
60,6	281	283	65,6	304	306	70,6	328	329	75,6	351	352
60,7	282	283	65,7	305	306	70,7	328	330	75,7	351	353
60,8	282	284	65,8	305	307	70,8	328	330	75,8	352	353
60,9	283	284	65,9	306	307	70,9	329	331	75,9	352	354
61,0	283	285	66,0	306	308	71,0	329	331	76,0	352	354
61,1	284	285	66,1	307	308	71,1	330	332	76,1	353	355
61,2	284	286	66,2	307	309	71,2	330	332	76,2	353	355
61,3	285	286	66,3	308	309	71,3	331	332	76,3	354	356
61,4	285	286	66,4	308	310	71,4	331	333	76,4	354	356
61,5	286	287	66,5	309	310	71,5	332	333	76,5	355	357
61,6	286	287	66,6	309	311	71,6	332	334	76,6	355	357
61,7	286	288	66,7	309	311	71,7	333	334	76,7	356	358
61,8	287	288	66,8	310	312	71,8	333	335	76,8	356	358
61,9	287	289	66,9	310	312	71,9	334	335	76,9	357	359
62,0	288	289	67,0	311	312	72,0	334	336	77,0	357	359
62,1	288	290	67,1	311	313	72,1	334	336	77,1	358	359
62,2	289	290	67,2	312	313	72,2	335	337	77,2	358	360
62,3	289	291	67,3	312	314	72,3	335	337	77,3	358	360
62,4	290	291	67,4	313	314	72,4	336	338	77,4	359	361
62,5	290	292	67,5	313	315	72,5	336	338	77,5	359	361
62,6	291	292	67,6	314	315	72,6	337	339	77,6	360	362
62,7	291	292	67,7	314	316	72,7	337	339	77,7	360	362
62,8	291	293	67,8	315	316	72,8	338	339	77,8	361	363
62,9	292	293	67,9	315	317	72,9	338	340	77,9	361	363
63,0	292	294	68,0	315	317	73,0	339	340	78,0	362	364
63,1	293	294	68,1	316	318	73,1	339	341	78,1	362	364
63,2	293	295	68,2	316	318	73,2	340	341	78,2	363	365
63,3	294	295	68,3	317	319	73,3	340	342	78,3	363	365
63,4	294	296	68,4	317	319	73,4	340	342	78,4	364	365
63,5	295	296	68,5	318	319	73,5	341	343	78,5	364	366
63,6	295	297	68,6	318	320	73,6	341	343	78,6	364	366
63,7	296	297	68,7	319	320	73,7	342	344	78,7	365	367
63,8	296	298	68,8	319	321	73,8	342	344	78,8	365	367
63,9	297	298	68,9	320	321	73,9	343	345	78,9	366	368
64,0	297	299	69,0	320	322	74,0	343	345	79,0	366	368
64,1	297	299	69,1	321	322	74,1	344	345	79,1	367	369
64,2	298	299	69,2	321	323	74,2	344	346	79,2	367	369
64,3	298	300	69,3	322	323	74,3	345	346	79,3	368	370
64,4	299	300	69,4	322	324	74,4	345	347	79,4	368	370
64,5	299	301	69,5	322	324	74,5	346	347	79,5	369	371
64,6	300	301	69,6	323	325	74,6	346	348	79,6	369	371
64,7	300	302	69,7	323	325	74,7	346	348	79,7	370	372
64,8	301	302	69,8	324	325	74,8	347	349	79,8	370	372
64,9	301	303	69,9	324	326	74,9	347	349	79,9	370	372

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
	80,0	371		373	85,0		394	396		90,0	417	419	95,0	440	443
80,1	371	373	85,1	395	397	90,1	418	420	95,1	441	443
80,2	372	374	85,2	395	397	90,2	418	420	95,2	441	444
80,3	372	374	85,3	395	398	90,3	419	421	95,3	442	444
80,4	373	375	85,4	396	398	90,4	419	421	95,4	442	445
80,5	373	375	85,5	396	399	90,5	420	422	95,5	443	445
80,6	374	376	85,6	397	399	90,6	420	422	95,6	443	446
80,7	374	376	85,7	397	399	90,7	420	423	95,7	444	446
80,8	375	377	85,8	398	400	90,8	421	423	95,8	444	447
80,9	375	377	85,9	398	400	90,9	421	424	95,9	444	447
81,0	376	378	86,0	399	401	91,0	422	424	96,0	445	447
81,1	376	378	86,1	399	401	91,1	422	425	96,1	445	448
81,2	376	379	86,2	400	402	91,2	423	425	96,2	446	448
81,3	377	379	86,3	400	402	91,3	423	426	96,3	446	449
81,4	377	379	86,4	401	403	91,4	424	426	96,4	447	449
81,5	378	380	86,5	401	403	91,5	424	426	96,5	447	450
81,6	378	380	86,6	401	404	91,6	425	427	96,6	448	450
81,7	379	381	86,7	402	404	91,7	425	427	96,7	448	451
81,8	379	381	86,8	402	405	91,8	426	428	96,8	449	451
81,9	380	382	86,9	403	405	91,9	426	428	96,9	449	452
82,0	380	382	87,0	403	406	92,0	426	429	97,0	450	452
82,1	381	383	87,1	404	406	92,1	427	429	97,1	450	453
82,2	381	383	87,2	404	406	92,2	427	430	97,2	451	453
82,3	382	384	87,3	405	407	92,3	428	430	97,3	451	453
82,4	382	384	87,4	405	407	92,4	428	431	97,4	451	454
82,5	383	385	87,5	406	408	92,5	429	431	97,5	452	454
82,6	383	385	87,6	406	408	92,6	429	432	97,6	452	455
82,7	383	386	87,7	407	409	92,7	430	432	97,7	453	455
82,8	384	386	87,8	407	409	92,8	430	433	97,8	453	456
82,9	384	386	87,9	407	410	92,9	431	433	97,9	454	456
83,0	385	387	88,0	408	410	93,0	431	433	98,0	454	457
83,1	385	387	88,1	408	411	93,1	432	434	98,1	455	457
83,2	386	388	88,2	409	411	93,2	432	434	98,2	455	458
83,3	386	388	88,3	409	412	93,3	432	435	98,3	456	458
83,4	387	389	88,4	410	412	93,4	433	435	98,4	456	459
83,5	387	389	88,5	410	413	93,5	433	436	98,5	457	459
83,6	388	390	88,6	411	413	93,6	434	436	98,6	457	460
83,7	388	390	88,7	411	413	93,7	434	437	98,7	457	460
83,8	389	391	88,8	412	414	93,8	435	437	98,8	458	460
83,9	389	391	88,9	412	414	93,9	435	438	98,9	458	461
84,0	389	392	89,0	413	415	94,0	436	438	99,0	459	461
84,1	390	392	89,1	413	415	94,1	436	439	99,1	459	462
84,2	390	392	89,2	413	416	94,2	437	439	99,2	460	462
84,3	391	393	89,3	414	416	94,3	437	440	99,3	460	463
84,4	391	393	89,4	414	417	94,4	438	440	99,4	461	463
84,5	392	394	89,5	415	417	94,5	438	440	99,5	461	464
84,6	392	394	89,6	415	418	94,6	438	441	99,6	462	464
84,7	393	395	89,7	416	418	94,7	439	441	99,7	462	465
84,8	393	395	89,8	416	419	94,8	439	442	99,8	463	465
84,9	394	396	89,9	417	419	94,9	440	442	99,9	463	466

**TABLA 8.302.14.A (cont.)  
VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
100,0	463	466	110,0	510	513	120,0	556	559	130,0	602	606
100,2	464	467	110,2	511	514	120,2	557	560	130,2	603	607
100,4	465	468	110,4	512	515	120,4	558	560	130,4	604	608
100,6	466	469	110,6	513	515	120,6	559	562	130,6	605	609
100,8	467	470	110,8	513	516	120,8	560	563	130,8	606	610
101,0	468	471	111,0	514	517	121,0	561	564	131,0	607	611
101,2	469	471	111,2	515	518	121,2	562	565	131,2	608	611
101,4	470	473	111,4	516	519	121,4	563	566	131,4	609	612
101,6	471	474	111,6	517	520	121,6	563	567	131,6	610	613
101,8	472	474	111,8	518	521	121,8	564	568	131,8	611	614
102,0	473	475	112,0	519	522	122,0	565	569	132,0	612	615
102,2	474	476	112,2	520	523	122,2	566	570	132,2	613	616
102,4	475	477	112,4	521	524	122,4	567	570	132,4	613	617
102,6	475	478	112,6	522	525	122,6	568	571	132,6	614	618
102,8	476	479	112,8	523	526	122,8	569	572	132,8	615	619
103,0	477	480	113,0	524	527	123,0	570	573	133,0	616	620
103,2	478	481	113,2	525	528	123,2	571	574	133,2	617	621
103,4	479	482	113,4	525	529	123,4	572	575	133,4	618	622
103,6	480	483	113,6	526	529	123,6	573	576	133,6	619	623
103,8	481	484	113,8	527	530	123,8	574	577	133,8	620	624
104,0	482	485	114,0	528	531	124,0	575	578	134,0	621	625
104,2	483	486	114,2	529	532	124,2	575	579	134,2	622	625
104,4	484	487	114,4	530	533	124,4	576	580	134,4	623	626
104,6	485	488	114,6	531	534	124,6	577	581	134,6	624	627
104,8	486	488	114,8	532	535	124,8	578	582	134,8	625	628
105,0	487	489	115,0	533	536	125,0	579	583	135,0	625	629
105,2	488	490	115,2	534	537	125,2	580	584	135,2	626	630
105,4	488	491	115,4	535	538	125,4	581	584	135,4	627	631
105,6	489	492	115,6	536	539	125,6	582	585	135,6	628	632
105,8	490	493	115,8	537	540	125,8	583	586	135,8	629	633
106,0	491	494	116,0	538	541	126,0	584	587	136,0	630	634
106,2	492	495	116,2	538	542	126,2	585	588	136,2	631	635
106,4	493	496	116,4	539	542	126,4	586	589	136,4	632	636
106,6	494	497	116,6	540	543	126,6	587	590	136,6	633	637
106,8	495	498	116,8	541	544	126,8	588	591	136,8	634	638
107,0	496	499	117,0	542	545	127,0	588	592	137,0	635	639
107,2	497	500	117,2	543	546	127,2	589	593	137,2	636	639
107,4	498	501	117,4	544	547	127,4	590	594	137,4	637	640
107,6	499	501	117,6	545	548	127,6	591	595	137,6	638	641
107,8	500	502	117,8	546	549	127,8	592	596	137,8	638	642
108,0	500	503	118,0	547	550	128,0	593	597	138,0	639	643
108,2	501	504	118,2	548	551	128,2	594	597	138,2	640	644
108,4	502	505	118,4	549	552	128,4	595	598	138,4	641	645
108,6	503	506	118,6	550	553	128,6	596	599	138,6	642	646
108,8	504	507	118,8	550	554	128,8	597	600	138,8	643	647
109,0	505	508	119,0	551	555	129,0	598	601	139,0	644	648
109,2	506	509	119,2	552	556	129,2	599	602	139,2	645	649
109,4	507	510	119,4	553	556	129,4	600	603	139,4	646	650
109,6	508	511	119,6	554	557	129,6	600	604	139,6	647	651
109,8	509	512	119,8	555	558	129,8	601	605	139,8	648	652

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C
140,0	649	150,0	695	160,0	741	170,0	788	180,0	834	190,0	880
140,2	650	150,2	696	160,2	742	170,2	789	180,2	835	190,2	881
140,4	650	150,4	697	160,4	743	170,4	789	180,4	836	190,4	882
140,6	651	150,6	698	160,6	744	170,6	790	180,6	837	190,6	883
140,8	652	150,8	699	160,8	745	170,8	791	180,8	838	190,8	884
141,0	653	151,0	700	161,0	746	171,0	792	181,0	839	191,0	885
141,2	654	151,2	701	161,2	747	171,2	793	181,2	839	191,2	886
141,4	655	151,4	701	161,4	748	171,4	794	181,4	840	191,4	887
141,6	656	151,6	702	161,6	749	171,6	795	181,6	841	191,6	888
141,8	657	151,8	703	161,8	750	171,8	796	181,8	842	191,8	889
142,0	658	152,0	704	162,0	751	172,0	797	182,0	843	192,0	889
142,2	659	152,2	705	162,2	751	172,2	798	182,2	844	192,2	890
142,4	660	152,4	706	162,4	752	172,4	799	182,4	845	192,4	891
142,6	661	152,6	707	162,6	753	172,6	800	182,6	846	192,6	892
142,8	662	152,8	708	162,8	754	172,8	801	182,8	847	192,8	893
143,0	663	153,0	709	163,0	755	1730,0	801	183,0	848	193,0	894
143,2	663	153,2	710	163,2	756	173,2	802	183,2	849	193,2	895
143,4	664	153,4	711	163,4	757	173,4	803	183,4	850	193,4	896
143,6	665	153,6	712	163,6	758	173,6	804	183,6	851	193,6	897
143,8	666	153,8	713	163,8	759	173,8	805	183,8	851	193,8	898
144,0	667	154,0	713	164,0	760	174,0	806	184,0	852	194,0	899
144,2	668	154,2	714	164,2	761	174,2	807	184,2	853	194,2	900
144,4	669	154,4	715	164,4	762	174,4	808	184,4	854	194,4	901
144,6	670	154,6	716	164,6	763	174,6	809	184,6	855	194,6	902
144,8	671	154,8	717	164,8	763	174,8	810	184,8	856	194,8	902
145,0	672	155,0	718	165,0	764	175,0	811	185,0	857	195,0	903
145,2	673	155,2	719	165,2	765	175,2	812	185,2	858	195,2	904
145,4	674	155,4	720	165,4	766	175,4	813	185,4	859	195,4	905
145,6	675	155,6	721	165,6	767	175,6	814	185,6	860	195,6	906
145,8	676	155,8	722	165,8	768	175,8	814	185,8	861	195,8	907
146,0	676	156,0	723	166,0	769	176,0	815	186,0	862	196,0	908
146,2	677	156,2	724	166,2	770	176,2	816	186,2	863	196,2	909
146,4	678	156,4	725	166,4	771	176,4	817	186,4	864	196,4	910
146,6	679	156,6	726	166,6	772	176,6	818	186,6	864	196,6	911
146,8	680	156,8	726	166,8	773	176,8	819	186,8	865	196,8	912
147,0	681	157,0	727	167,0	774	177,0	820	187,0	866	197,0	913
147,2	682	157,2	728	167,2	775	177,2	821	187,2	867	197,2	914
147,4	683	157,4	729	167,4	776	177,4	822	187,4	868	197,4	914
147,6	684	157,6	730	167,6	776	177,6	823	187,6	869	197,6	915
147,8	685	157,8	731	167,8	777	177,8	824	187,8	870	197,8	916
148,0	686	158,0	732	168,0	778	178,0	825	188,0	871	198,0	917
148,2	687	158,2	733	168,2	779	178,2	826	188,2	872	198,2	918
148,4	688	158,4	734	168,4	780	178,4	826	188,4	873	198,4	919
148,6	688	158,6	735	168,6	781	178,6	827	188,6	874	198,6	920
148,8	689	158,8	736	168,8	782	178,8	828	188,8	875	198,8	921
149,0	690	159,0	737	169,0	783	179,0	829	189,0	876	199,0	922
149,2	691	159,2	738	169,2	784	179,2	830	189,2	877	199,2	923
149,4	692	159,4	738	169,4	785	179,4	831	189,4	877	199,4	924
149,6	693	159,6	739	169,6	786	179,6	832	189,6	878	199,6	925
149,8	694	159,8	740	169,8	787	179,8	833	189,8	879	199,8	926

**TABLA 8.302.14.A (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C
200,0	927	225,0	1042	250,0	1158	275,0	1274	300,0	1390	325,0	1506
200,5	929	225,5	1045	250,5	1160	275,5	1276	300,5	1392	325,5	1508
201,0	931	226,0	1047	251,0	1163	276,0	1279	301,0	1394	326,0	1510
201,5	933	226,5	1049	251,5	1165	276,5	1281	301,5	1397	326,5	1512
202,0	936	227,0	1052	252,0	1167	277,0	1283	302,0	1399	327,0	1515
202,5	938	227,5	1054	252,5	1170	277,5	1286	302,5	1401	327,5	1517
203,0	940	228,0	1086	253,0	1172	278,0	1288	303,0	1404	328,0	1519
203,5	943	228,5	1059	253,5	1174	278,5	1290	303,5	1406	328,5	1522
204,0	945	229,0	1061	254,0	1177	279,0	1292	304,0	1408	329,0	1524
204,5	947	229,5	1063	254,5	1179	279,5	1295	304,5	1411	329,5	1526
205,0	950	230,0	1065	255,0	1181	280,0	1297	305,0	1413	330,0	1529
205,5	952	230,5	1068	255,5	1184	280,5	1299	305,5	1415	330,5	1531
206,0	954	231,0	1070	256,0	1186	281,0	1302	306,0	1418	331,0	1533
206,5	957	231,5	1072	256,5	1188	281,5	1304	306,5	1420	331,5	1536
207,0	959	232,0	1075	257,0	1191	282,0	1306	307,0	1422	332,0	1538
207,5	961	232,5	1077	257,5	1193	282,5	1309	307,5	1424	332,5	1540
208,0	964	233,0	1079	258,0	1195	283,0	1311	308,0	1427	333,0	1543
208,5	966	233,5	1082	258,5	1198	283,5	1313	308,5	1429	333,5	1545
209,0	968	234,0	1084	259,0	1200	284,0	1316	309,0	1431	334,0	1547
209,5	971	234,5	1086	259,5	1202	284,5	1318	309,5	1434	334,5	1550
210,0	973	235,0	1089	260,0	1204	285,0	1320	310,0	1436	335,0	1552
210,5	975	235,5	1091	260,5	1207	285,5	1323	310,5	1438	335,5	1554
211,0	977	236,0	1093	261,0	1209	286,0	1325	311,0	1441	336,0	1557
211,5	980	236,5	1096	261,5	1211	286,5	1327	311,5	1443	336,5	1559
212,0	982	237,0	1098	262,0	1214	287,0	1330	312,0	1445	337,0	1561
212,5	984	237,5	1100	262,5	1216	287,5	1332	312,5	1448	337,5	1563
213,0	987	238,0	1103	263,0	1218	288,0	1334	313,0	1450	338,0	1566
213,5	989	238,5	1105	263,5	1221	288,5	1336	313,5	1452	338,5	1568
214,0	991	239,0	1107	264,0	1223	289,0	1339	314,0	1455	339,0	1570
214,5	994	239,5	1109	264,5	1225	289,5	1341	314,5	1457	339,5	1573
215,0	996	240,0	1112	265,0	1228	290,0	1343	315,0	1459	340,0	1575
215,5	998	240,5	1114	265,5	1230	290,5	1346	315,5	1462	340,5	1577
216,0	1001	241,0	1116	266,0	1232	291,0	1348	316,0	1464	341,0	1580
216,5	1003	241,5	1119	266,5	1235	291,5	1350	316,5	1466	341,5	1582
217,0	1005	242,0	1121	267,0	1237	292,0	1353	317,0	1468	342,0	1584
217,5	1008	242,5	1123	267,5	1239	292,5	1355	317,5	1471	342,5	1587
218,0	1010	243,0	1126	268,0	1242	293,0	1357	318,0	1473	343,0	1589
218,5	1012	243,5	1128	268,5	1244	293,5	1360	318,5	1475	343,5	1591
219,0	1015	244,0	1130	269,0	1246	294,0	1362	319,0	1478	344,0	1594
219,5	1017	244,5	1133	269,5	1248	294,5	1364	319,5	1480	344,5	1596
220,0	1019	245,0	1135	270,0	1251	295,0	1367	320,0	1482	345,0	1598
220,5	1021	245,5	1137	270,5	1253	295,5	1369	320,5	1485	345,5	1601
221,0	1024	246,0	1140	271,0	1255	296,0	1371	321,0	1487	346,0	1603
221,5	1026	246,5	1142	271,5	1258	296,5	1374	321,5	1489	346,5	1605
222,0	1028	247,0	1144	272,0	1260	297,0	1376	322,0	1492	347,0	1607
222,5	1031	247,5	1147	272,5	1262	297,5	1378	322,5	1494	347,5	1610
223,0	1033	248,0	1149	273,0	1265	298,0	1380	323,0	1496	348,0	1612
223,5	1035	248,5	1151	273,5	1267	298,5	1383	323,5	1499	348,5	1614
224,0	1038	249,0	1154	274,0	1269	299,0	1385	324,0	1501	349,0	1617
224,5	1040	249,5	1156	274,5	1272	299,5	1387	324,5	1503	349,5	1619

**TABLA 8.302.14.A (cont.)  
VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C	Viscos. Cinem. cSt	Equiv. Visc. Sayb. Univ. SUS 38°C
350,0	1621	375,0	1737	400,0	1853	425,0	1969	450,0	2085	475,0	2200
350,5	1624	375,5	1739	40,5	1855	425,5	1971	450,5	2087	475,5	2203
351,0	1626	376,0	1742	401,0	1858	426,0	1973	451,0	2089	476,0	2205
351,5	1628	376,5	1744	401,5	1860	426,5	1976	451,5	2092	476,5	2207
352,0	1631	377,0	1746	402,0	1862	427,0	1978	452,0	2094	477,0	2210
352,5	1633	377,5	1749	402,5	1865	427,5	1980	452,5	2096	477,5	2212
353,0	1635	378,0	1751	403,0	1867	428,0	1983	453,0	2098	478,0	2214
353,5	1638	378,5	1753	403,5	1869	428,5	1985	453,5	2101	478,5	2217
354,0	1640	379,0	1756	404,0	1872	429,0	1987	454,0	2103	479,0	2219
354,5	1642	379,5	1758	404,5	1874	429,5	1990	454,5	2105	479,5	2221
355,0	1645	390,0	1760	405,0	1876	430,0	1992	455,0	2108	480,0	2224
355,5	1647	380,5	1763	405,5	1878	430,5	1994	455,5	2110	480,5	2226
356,0	1648	381,0	1765	406,0	1881	431,0	1997	456,0	2112	481,0	2228
356,5	1651	381,5	1767	406,5	1883	431,5	1999	456,5	2115	481,5	2231
357,0	1654	382,0	1770	407,0	1885	432,0	2001	457,0	2117	482,0	2233
357,5	1656	382,5	1772	407,5	1888	432,5	2004	457,5	2119	482,5	2235
358,0	1658	383,0	1774	408,0	1890	433,0	2006	458,0	2122	483,0	2237
358,5	1661	383,5	1777	408,5	1892	433,5	2008	458,5	2124	483,5	2240
359,0	1663	384,0	1779	409,0	1895	434,0	2010	459,0	2126	484,0	2242
359,5	1665	384,5	1781	409,5	1897	434,5	2013	459,5	2129	484,5	2244
360,0	1668	385,0	1783	410,0	1899	435,0	2015	460,0	2131	485,0	2247
360,5	1670	385,5	1786	410,5	1902	435,5	2017	460,5	2133	485,5	2249
361,0	1672	386,0	1788	411,0	1904	436,0	2020	461,0	2136	486,0	2251
361,5	1675	386,5	1790	411,5	1906	436,5	2022	461,5	2138	486,5	2254
362,0	1677	387,0	1793	412,0	1909	437,0	2024	462,0	2140	487,0	2256
362,5	1679	387,5	1795	412,5	1911	437,5	2027	462,5	2142	487,5	2258
363,0	1682	388,0	1797	413,0	1913	438,0	2029	463,0	2145	488,0	2261
363,5	1684	388,5	1800	413,5	1916	438,5	2031	463,5	2147	488,5	2263
364,0	1686	389,0	1802	414,0	1918	439,0	2034	464,0	2149	489,0	2265
364,5	1689	389,5	1804	414,5	1920	439,5	2036	464,5	2152	489,5	2268
365,0	1691	390,0	1807	415,0	1922	440,0	2038	465,0	2154	490,0	2270
365,5	1693	390,5	1809	415,5	1925	440,5	2041	465,5	2156	490,5	2272
366,0	1695	391,0	1811	416,0	1927	441,0	2043	466,0	2159	491,0	2275
366,5	1698	391,5	1814	416,5	1929	441,5	2045	466,5	2161	491,5	2277
367,0	1700	392,0	1816	417,0	1932	442,0	2048	467,0	2163	492,0	2279
367,5	1702	392,5	1818	417,5	1934	442,5	2050	467,5	2166	492,5	2281
368,0	1705	393,0	1821	418,0	1936	443,0	2052	468,0	2168	493,0	2284
368,5	1707	393,5	1823	418,5	1939	443,5	2054	468,5	2170	493,5	2286
369,0	1709	394,0	1825	419,0	1941	444,0	2057	469,0	2173	494,0	2288
369,5	1712	394,5	1827	419,5	1943	444,5	2059	469,5	2175	494,5	2291
370,0	1714	395,0	1830	420,0	1946	445,0	2061	470,0	2177	495,0	2293
370,5	1716	395,5	1832	420,5	1948	445,5	2064	470,5	2180	495,5	2295
371,0	1719	396,0	1834	421,0	1950	446,0	2066	471,0	2182	496,0	2298
371,5	1721	396,5	1837	421,5	1953	446,5	2068	471,5	2184	496,5	2300
372,0	1723	397,0	1839	422,0	1955	447,0	2071	472,0	2187	497,0	2302
372,5	1726	397,5	1841	422,5	1957	447,5	2073	472,5	2189	497,5	2305
373,0	1728	398,0	1844	423,0	1960	448,0	2075	473,0	2191	498,0	2307
373,5	1730	398,5	1846	423,5	1962	448,5	2078	473,5	2193	498,5	2309
374,0	1733	399,0	1848	424,0	1964	449,0	2080	474,0	2196	499,0	2312
374,5	1735	399,5	1851	424,5	1966	449,5	2082	474,5	2198	499,5	2314

**TABLA 8.302.14.B**  
**FACTORES DE CONVERSION DE VISCOSIDAD CINEMATICA A**  
**VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL**

Temperatura °C	Factores de Conversión	
	Factor A 75 cSt y bajo	Factor B Sobre 75 cSt
- 18	0,994	4,604
- 12	0,995	4,607
- 7	0,995	4,610
- 1	0,996	4,613
4	0,996	4,615
10	0,997	4,618
16	0,998	4,621
21	0,998	4,624
27	0,999	4,627
32	0,999	4,630
38	1,000	4,632
43	1,001	4,635
49	1,001	4,638
54	1,002	4,641
60	1,002	4,641
66	1,003	4,647
71	1,004	4,649
77	1,004	4,652
82	1,005	4,655
88	1,005	4,658
93	1,006	4,661
99	1,007	4,664
104	1,007	4,666
110	1,008	4,669
116	1,009	4,672
121	1,009	4,675
127	1,010	4,678
132	1,010	4,680
138	1,011	4,683
143	1,012	4,686
149	1,012	4,689
154	1,013	4,692
160	1,013	4,695
166	1,014	4,697
171	1,015	4,700
177	1,015	4,703

**TABLA 8.302.14.C**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
48	25,1										
49	25,6										
50	26,0	25,2	100	48,6	48,4	150	71,5	72,1	200	94,8	96,0
51	26,5	25,6	101	49,1	48,9	151	72,0	72,6	201	95,2	96,5
52	27,0	26,1	102	49,5	49,3	152	72,4	73,1	202	95,7	96,9
53	27,4	26,5	103	50,0	49,8	153	72,9	73,5	203	96,2	97,4
54	27,9	27,0	104	50,4	50,3	154	73,4	74,0	204	96,6	97,9
55	28,3	27,4	105	50,9	50,7	155	73,8	74,5	205	97,1	98,4
56	28,8	27,9	106	51,3	51,2	156	74,3	75,0	206	97,6	98,8
57	29,2	28,4	107	51,8	51,7	157	74,8	75,4	207	98,0	99,3
58	29,7	28,8	108	52,3	52,2	158	75,2	75,9	208	98,5	99,8
59	30,1	29,3	109	52,7	52,6	159	75,7	76,4	209	99,0	100,3
60	30,6	29,7	110	53,2	53,1	160	76,1	76,9	210	99,4	100,8
61	31,1	30,2	111	53,6	53,6	161	76,6	77,4	211	99,9	101,2
62	31,5	30,6	112	54,1	54,1	162	77,1	77,8	212	100,4	101,7
63	32,0	31,1	113	54,5	54,5	163	77,5	78,3	213	100,6	102,2
64	32,4	31,6	114	55,0	55,0	164	78,0	78,8	214	101,3	102,7
65	32,9	32,0	115	55,4	55,5	165	78,5	79,3	215	101,8	103,1
66	33,3	32,5	116	55,9	55,9	166	78,9	79,7	216	102,3	103,6
67	33,8	33,0	117	56,3	56,4	167	79,4	80,2	217	102,7	104,1
68	34,2	33,4	118	56,8	56,9	168	79,9	80,7	218	103,2	104,6
69	34,7	33,9	119	57,3	57,4	169	80,3	81,2	219	103,7	105,1
70	35,1	34,3	120	57,7	57,8	170	80,8	81,6	220	104,1	105,5
71	35,6	35,8	121	58,2	58,3	171	81,2	82,1	221	104,6	106,0
72	36,0	35,3	122	58,6	58,8	172	81,7	82,6	222	105,1	106,5
73	36,5	35,7	123	59,1	59,3	173	82,2	83,1	223	105,5	107,0
74	36,9	36,2	124	59,5	59,7	174	82,6	83,6	224	106,0	107,4
75	37,4	36,7	125	60,0	60,2	175	83,1	84,0	225	106,5	107,9
76	37,8	37,1	126	60,5	60,7	176	83,6	84,5	226	106,9	108,4
77	38,3	37,6	127	60,9	61,2	177	84,0	85,0	227	107,4	108,9
78	38,7	38,1	128	61,4	61,6	178	84,5	85,5	228	107,9	109,4
79	39,2	38,5	129	61,8	62,1	179	85,0	85,9	229	108,3	109,8
80	39,6	39,0	130	62,3	62,6	180	85,4	86,4	230	108,8	110,3
81	40,1	39,5	131	62,8	63,1	181	85,9	86,9	231	109,3	110,8
82	40,5	39,9	132	63,2	63,5	182	86,4	87,4	232	109,8	111,3
83	41,0	40,4	133	63,7	64,0	183	86,8	87,9	233	110,2	111,8
84	41,4	40,9	134	64,1	64,5	184	87,3	88,3	234	110,7	112,2
85	41,9	41,3	135	64,6	65,0	185	87,8	88,8	235	111,2	112,7
86	42,3	41,8	136	65,1	65,4	186	88,2	89,3	236	111,6	113,2
87	42,8	42,3	137	65,5	65,9	187	88,7	89,8	237	112,1	113,7
88	43,2	42,7	138	66,0	66,4	188	89,2	90,2	238	112,6	114,1
89	43,7	43,2	139	66,4	66,9	189	89,6	90,7	239	113,0	114,6
90	44,1	43,7	140	66,9	67,3	190	90,1	91,2	240	113,5	115,1
91	44,6	44,1	141	67,4	67,8	191	90,6	91,7	241	114,0	115,6
92	45,0	44,6	142	67,8	68,3	192	91,0	92,2	242	114,4	116,1
93	45,5	45,1	143	68,3	68,8	193	91,5	92,6	243	114,9	116,5
94	45,9	45,6	144	68,7	69,3	194	92,0	93,1	244	115,4	117,0
95	46,4	46,0	145	69,2	69,7	195	92,4	93,6	245	115,9	117,5
96	46,8	46,5	146	69,7	70,2	196	92,9	94,1	246	116,3	118,0
97	47,3	47,0	147	70,1	70,7	197	93,4	94,5	247	116,8	118,5
98	47,7	47,4	148	70,6	71,2	198	93,8	95,0	248	117,3	118,9
99	48,2	47,9	149	71,0	71,6	199	94,3	95,5	249	117,7	119,4

**TABLA 8.302.14.C (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
250	118,2	119,9	300	141,7	143,8	350	165,2	167,8	400	188,8	191,7
251	118,7	120,4	301	142,2	144,3	351	165,7	168,2	401	189,3	192,2
252	119,1	120,8	302	142,6	144,8	352	166,2	168,7	402	189,7	192,7
253	119,6	121,3	303	143,1	145,3	353	166,6	169,2	403	190,2	193,2
254	120,1	121,8	304	143,6	145,7	354	167,1	169,7	404	190,7	193,6
255	120,5	122,3	305	144,0	146,2	355	167,6	170,2	405	191,1	194,1
256	121,0	122,8	306	144,5	146,7	356	168,1	170,6	406	191,6	194,6
257	121,5	123,2	307	145,0	147,2	357	168,5	171,1	407	192,1	195,1
258	122,0	123,7	308	145,5	147,7	358	169,0	171,6	408	192,6	195,5
259	122,4	124,2	309	145,9	148,1	359	169,5	172,1	409	193,0	196,0
260	122,9	124,7	310	146,4	148,6	360	169,9	172,6	410	193,5	196,5
261	123,4	125,2	311	146,9	149,1	361	170,4	173,0	411	194,0	197,0
262	123,8	125,6	312	147,3	149,6	362	170,9	173,5	412	194,4	197,5
263	124,3	126,1	313	147,8	150,0	363	171,4	174,0	413	194,9	197,9
264	124,8	126,6	314	148,3	150,5	364	171,8	174,5	414	195,4	198,4
265	125,2	127,1	315	148,8	151,0	365	172,3	174,9	415	195,8	198,9
266	125,7	127,5	316	149,2	151,5	366	172,8	175,4	416	196,3	199,4
267	126,2	128,0	317	149,7	152,0	367	173,2	175,9	417	196,8	199,9
268	126,7	128,5	318	150,2	152,4	368	173,7	176,4	418	197,3	200
269	127,1	129,0	319	150,6	152,9	369	174,2	176,9	419	197,7	201
270	127,6	129,5	320	151,1	153,4	370	174,6	177,3	420	198,2	201
271	128,1	129,9	321	151,6	153,9	371	175,1	177,8	421	198,7	202
272	128,5	130,4	322	152,0	154,4	372	175,6	178,3	422	199,1	202
273	129,0	130,9	323	152,5	154,8	373	176,1	178,8	423	199,6	203
274	129,5	131,4	324	153,0	155,3	374	176,5	179,3	424	200	203
275	129,9	131,9	325	153,5	155,8	375	177,0	179,7	425	201	204
276	130,4	132,3	326	153,9	156,3	376	177,5	180,2	426	201	204
277	130,9	132,8	327	154,4	156,7	377	177,9	180,7	427	202	205
278	131,4	133,3	328	154,9	157,2	378	178,4	181,2	428	202	205
279	131,8	133,8	329	155,3	157,7	379	178,9	181,7	429	202	206
280	132,3	134,2	330	155,8	158,2	380	179,4	182,1	430	203	206
281	132,8	134,7	331	156,3	158,7	381	179,8	182,6	431	203	207
282	133,2	135,2	332	156,8	159,1	382	180,3	183,1	432	204	207
283	133,7	135,7	333	157,2	159,6	383	180,8	183,6	433	204	208
284	134,2	136,2	334	157,7	160,1	384	181,2	184,1	434	205	208
285	134,6	136,6	335	158,2	160,6	385	181,7	184,5	435	205	208
286	135,1	137,1	336	158,6	161,1	386	182,2	185,0	436	206	209
287	135,6	137,6	337	159,1	161,5	387	182,7	185,5	437	206	209
288	136,1	138,1	338	159,6	162,0	388	183,1	186,0	438	207	210
289	136,5	138,6	339	160,0	162,5	389	183,6	186,4	439	207	210
290	137,0	139,0	340	160,5	163,0	390	184,1	186,9	440	208	211
291	137,5	139,5	341	161,0	163,5	391	184,5	187,4	441	208	211
292	137,9	140,0	342	161,5	163,9	392	185,0	187,9	442	209	212
293	138,4	140,5	343	161,9	164,4	393	185,5	188,4	443	209	212
294	138,9	140,9	344	162,4	164,9	394	186,0	188,8	444	210	213
295	139,3	141,4	345	162,9	165,4	395	186,4	189,3	445	210	213
296	139,8	141,9	346	163,3	165,8	396	186,9	189,8	446	210	214
297	140,3	142,4	347	163,8	166,3	397	187,4	190,3	447	211	214
298	140,8	142,9	348	164,3	166,8	398	187,8	190,8	448	211	215
299	141,2	143,3	349	164,8	167,3	399	188,3	191,2	449	212	215

**TABLA 8.302.14.C (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
450	212	216	500	236	240	550	259	264	600	283	288
451	213	216	501	236	240	551	260	264	601	284	288
452	213	217	502	237	241	552	260	265	602	284	288
453	214	217	503	37	241	553	261	265	603	284	289
454	214	218	504	238	242	554	261	265	604	285	289
455	215	218	505	238	242	555	262	266	605	285	290
456	215	219	506	239	242	556	262	266	606	286	290
457	216	219	507	239	243	557	263	267	607	286	291
458	216	220	508	240	242	558	263	267	608	287	291
459	217	220	509	240	244	559	264	268	609	287	292
460	217	220	510	241	244	560	264	268	610	288	292
461	218	221	511	241	245	561	265	269	611	288	293
462	218	221	512	242	245	562	265	269	612	289	293
463	218	222	513	242	246	563	266	270	613	289	294
464	219	222	514	243	246	564	266	270	614	290	294
465	219	223	515	243	247	565	267	271	615	290	295
466	220	223	516	243	247	566	267	271	616	291	295
467	220	224	517	244	248	567	268	272	617	291	296
468	221	224	518	244	248	568	268	272	618	292	296
469	221	225	519	245	249	569	268	273	619	292	297
470	222	225	520	245	249	570	269	273	620	292	297
471	222	226	521	246	250	571	269	274	621	293	298
472	223	226	522	246	250	572	270	274	622	293	298
473	223	227	523	247	251	573	270	275	623	294	299
474	224	227	524	247	251	574	271	275	624	294	299
475	224	228	525	248	252	575	271	276	625	295	300
476	225	228	526	248	252	576	272	276	626	295	300
477	225	229	527	249	253	577	272	277	627	296	300
478	226	229	528	249	253	578	273	277	628	296	301
479	226	230	529	250	254	579	273	277	629	297	301
480	226	230	530	250	254	580	274	278	630	297	302
480	227	231	531	261	254	581	274	278	631	298	302
482	227	231	532	261	255	582	275	279	632	298	303
483	228	231	533	261	255	583	275	279	633	299	303
484	228	232	534	252	256	584	276	280	634	299	304
485	229	232	535	252	256	585	276	280	635	300	304
486	229	233	536	253	257	586	276	281	636	300	305
487	230	233	537	253	257	587	277	281	637	301	305
488	230	234	538	254	258	588	277	282	638	301	306
489	231	234	539	254	258	589	278	282	639	301	306
490	231	235	540	255	259	590	278	283	640	302	307
491	232	235	541	255	259	591	279	283	641	302	307
492	232	236	542	256	260	592	279	284	642	303	308
493	233	236	543	256	260	593	280	284	643	303	308
494	233	237	544	257	261	594	280	285	644	304	309
495	234	237	545	257	261	595	281	285	645	304	306
496	234	238	546	258	262	596	281	286	646	305	310
497	234	238	547	258	262	597	282	286	647	305	310
498	235	239	548	259	263	598	282	287	648	306	311
499	235	239	549	259	263	599	283	287	649	306	311

**TABLA 8.302.14.C (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
650	307	311	700	330	335	750	354	359	800	377	383
651	307	312	701	331	336	751	354	360	802	378	384
652	308	312	702	331	336	752	355	360	804	379	385
653	308	313	703	332	337	753	355	361	806	380	386
654	309	313	704	332	337	754	356	361	808	381	387
655	309	314	705	333	338	755	356	362	810	382	388
656	309	314	706	333	338	756	357	362	812	383	389
657	310	315	707	334	339	757	357	363	814	384	390
658	310	315	708	334	339	758	358	363	816	385	391
659	311	316	709	334	340	759	358	364	818	386	392
660	311	316	710	335	340	760	359	364	820	387	393
661	312	317	711	335	341	761	359	365	822	388	394
662	312	317	712	336	341	762	359	365	824	389	395
663	313	318	713	336	342	763	360	366	826	390	396
664	313	318	714	337	342	764	360	366	828	391	397
665	314	319	715	337	343	765	361	367	830	392	398
666	314	319	716	338	343	766	361	367	832	392	399
667	315	320	717	338	344	767	362	368	834	393	400
668	315	320	718	339	344	768	362	368	836	394	401
669	316	321	719	339	345	769	363	369	838	395	402
670	316	321	720	340	345	770	363	369	840	396	403
671	317	322	721	340	346	771	364	369	842	397	403
672	317	322	722	341	346	772	364	370	844	398	404
673	317	323	723	341	346	773	365	370	846	399	405
674	318	323	724	342	347	774	365	371	848	400	406
675	318	323	725	342	347	775	366	371	850	401	407
676	319	324	726	342	348	776	366	372	852	402	408
677	319	324	727	343	348	777	367	372	854	403	409
678	320	325	728	343	349	778	367	373	856	404	410
679	320	325	729	344	349	779	367	373	858	405	411
680	321	326	730	344	350	780	368	374	860	406	412
681	321	326	731	345	350	781	368	374	862	407	413
682	322	327	732	345	351	782	369	375	864	408	414
683	322	327	733	346	351	783	369	375	866	409	415
684	323	328	734	346	352	784	370	376	868	409	416
685	323	328	735	347	352	785	370	376	870	410	417
686	324	329	736	347	353	786	371	377	872	411	418
687	324	329	737	348	353	787	371	377	874	412	419
688	325	330	738	348	354	788	372	378	876	413	420
689	325	330	739	349	354	789	372	378	878	414	421
690	326	331	740	349	355	790	373	379	880	415	422
691	326	331	741	350	355	791	373	379	882	416	423
692	326	332	742	350	356	792	374	380	884	417	424
693	327	332	743	351	356	793	374	380	886	418	425
694	327	333	744	351	357	794	375	380	888	419	426
695	328	333	745	351	357	795	375	381	890	420	426
696	328	334	746	352	357	796	375	381	892	421	427
697	329	334	747	352	358	797	376	382	894	422	428
698	329	334	748	353	358	798	376	382	896	423	429
699	330	335	749	353	359	799	377	382	898	424	430

**TABLA 8.302.14.C (cont.)**  
**VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL**

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFs	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
900	425	431	1000	472	479	1100	519	527	1200	566	575
902	425	432	1002	473	480	1102	520	528	1202	567	576
904	426	433	1004	474	481	1104	521	529	1204	568	577
906	427	434	1006	475	482	1106	522	530	1206	569	578
908	428	435	1008	475	483	1108	523	531	1208	570	579
910	429	436	1010	476	484	1110	524	532	1210	571	580
912	430	437	1012	477	485	1112	525	533	1212	572	581
914	431	438	1014	478	486	1114	525	534	1214	573	582
916	432	439	1016	479	487	1116	526	535	1216	574	583
918	433	440	1018	480	488	1118	527	536	1218	575	584
920	434	441	1020	481	489	1120	528	537	1220	575	585
922	435	442	1022	482	490	1122	529	538	1222	576	586
924	436	443	1024	483	491	1124	530	539	1224	577	587
926	437	444	1026	484	492	1126	531	540	1226	578	588
928	438	445	1028	485	493	1128	532	541	1228	579	588
930	439	446	1030	486	494	1130	533	542	1230	580	589
932	440	447	1032	487	495	1132	534	542	1232	581	590
934	441	448	1034	488	495	1134	535	543	1234	582	591
936	442	449	1036	489	496	1136	536	544	1236	583	592
938	442	449	1038	490	497	1138	537	545	1238	584	593
940	443	450	1040	491	498	1140	538	546	1240	585	594
942	444	451	1042	492	499	1142	539	547	1242	586	595
944	445	452	1044	492	500	1144	540	548	1244	587	596
946	446	453	1046	493	501	1146	541	549	1246	588	597
948	447	454	1048	494	502	1148	542	550	1248	589	598
950	448	455	1050	495	503	1150	542	551	1250	590	595
952	449	456	1052	496	504	1152	543	552	1252	591	600
954	450	457	1054	497	505	1154	544	553	1254	592	601
956	451	458	1056	498	506	1156	545	554	1256	592	602
958	452	459	1058	499	507	1158	546	555	1258	593	603
960	453	460	1060	500	508	1160	547	556	1260	594	604
962	454	461	1062	501	509	1162	548	557	1262	595	605
964	455	462	1064	502	510	1164	549	558	1264	596	606
966	456	463	1066	503	511	1166	550	559	1266	597	607
968	457	464	1068	504	512	1168	551	560	1268	598	608
970	458	465	1070	505	513	1170	552	561	1270	599	609
972	459	466	1072	506	514	1172	553	562	1272	600	610
974	459	467	1074	507	515	1174	554	563	1274	601	611
976	460	468	1076	508	516	1176	555	564	1276	602	611
978	461	469	1078	509	517	1178	556	565	1278	603	612
980	462	470	1080	509	518	1180	557	565	1280	604	613
982	463	471	1082	510	518	1182	558	566	1282	605	614
984	464	472	1084	511	519	1184	559	567	1284	606	615
986	465	472	1086	512	520	1186	559	568	1286	607	616
988	466	473	1088	513	521	1188	560	569	1288	608	617
990	467	474	1090	514	522	1190	561	570	1290	609	618
992	468	475	1092	515	523	1192	562	571	1292	609	619
994	469	476	1094	516	524	1194	563	572	1294	610	620
996	470	477	1096	517	525	1196	564	573	1296	611	621
998	471	478	1098	518	526	1198	565	574	1296	612	622
									1300	613	623

## 8.302.15 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD MEDIANTE VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe los procedimientos para determinar la viscosidad de los asfaltos por viscosímetros capilares de vacío a 60° C. Es aplicable a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0,036 a 5.800.000 poises.

**Nota. 1:** El método es adecuado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada en determinaciones en cementos asfálticos a 60° C.

\*El Método 8.302.15 es una adaptación de la norma AASHTO T 202 – 80.

**2.- Resumen del Método.** Se mide el tiempo en que pasa un volumen fijo de líquido, succionado por un tubo capilar mediante vacío, bajo condiciones cuidadosamente controladas de vacío y temperatura. La viscosidad en poises se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

**Nota. 2:** El esfuerzo de corte decrece según el líquido se mueva hacia arriba del tubo; también puede variar por el uso de diferentes grados de vacío o diferentes tamaños de viscosímetros. Por consiguiente, este método es apropiado para las mediciones de viscosidad de líquidos Newtonianos y no-Newtonianos.

### 3.- Terminología.

**3.1 Viscosidad.** La razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad; este coeficiente en una medida de la resistencia a fluir del líquido. Comúnmente se denomina viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS es  $\text{g/cm}\cdot\text{s}$  ( $\text{dina}\cdot\text{s/cm}^2$ ) y se denomina poise (P). La unidad de viscosidad en el sistema SI es  $\text{Pa}\cdot\text{s}$  ( $\text{N s/m}^2$ ) y es equivalente a 10 P.

**3.2 Líquido Newtoniano.** Es aquél en el cual la tasa de corte es proporcional al esfuerzo cortante. La razón constante del esfuerzo de corte a la tasa de corte es la viscosidad del líquido; si la razón no es constante, el líquido es No-Newtoniano.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Viscosímetros Tipo Capilar.** Confeccionados de vidrio borosilicato recocido, apropiados para este ensaye. Los viscosímetros apropiados son los siguientes:

- a) Viscosímetro de vacío Cannon – Manning, como el que se describe en el Anexo A 1.
- b) Viscosímetro de vacío del Instituto del Asfalto, como el que se describe en el Anexo A 2.
- c) Viscosímetro de vacío Koppers Modificado, como el que se describe en el Anexo A 3.

Detalles, incluyendo la calibración de los viscosímetros, se entregan en el Anexo A 4.

**4.2 Termómetros.** Pueden usarse termómetros calibrados del tipo líquido en vidrio de una exactitud, después de corregir, de 0,02°C o algún otro instrumento de medición de temperatura de igual exactitud. Los termómetros para viscosidad cinemática ASTM 47F y 47 C, son adecuados para usar a la temperatura de 60°C.

**Nota 3:** Los termómetros especificados son normalizados a "inmersión total", lo que significa inmersión del tope superior de la columna de mercurio, con la extensión del caño y cámara de expansión en el tope del termómetro expuestos a temperatura de la sala. La práctica de sumergir completamente el termómetro no es recomendable. Cuando los termómetros se sumergen completamente, las correcciones para cada termómetro individual, basados en la calibración bajo condiciones de inmersión completa, deben ser determinadas y aplicadas. Si durante su uso, el termómetro está completamente sumergido en el baño, la presión del gas en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas altas o bajas.

**Nota 4:** Información respecto de técnicas adecuadas de calibración de termómetros se puede encontrar en ASTM E77.

**4.3 Baño.** Un baño adecuado para inmersión del viscosímetro, tal que la marca superior para determinar tiempos esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño y tanto el viscosímetro como el termómetro sean totalmente visibles. Debe estar provisto de soportes resistentes para el viscosímetro. La eficiencia de mezclado y balance entre el suministro y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no varíe en más de  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$  a lo largo del viscosímetro o de viscosímetro a viscosímetro, en varias posiciones en el baño.

**Nota 5:** El baño debe ser capaz de mantener la temperatura a  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$  para cumplir las especificaciones y  $\pm 0,06^{\circ}\text{C}$  para fines operacionales.

**4.4 Sistema de Vacío.** Un sistema de vacío, capaz de mantener un vacío dentro de  $\pm 0,5$  mm del nivel deseado y que incluya a 300 mm de mercurio. La Lámina 8.302.15.A, Figura 1, muestra lo esencial. Se usará una tubería de vidrio de 6,5 mm de DI y todas las uniones de vidrio deben ser herméticas al aire, tal que cuando el sistema esté cerrado, el manómetro de mercurio de terminal abierto, que tiene graduaciones de 1 mm, indique que no tiene pérdida de vacío. Como fuente de vacío es adecuada una bomba o aspiradora.

**4.5 Control de Tiempo.** Un cronómetro u otro equipo medidor de tiempo, graduados en divisiones de 0,1 s o menos y exactitud dentro de 0,5 %, cuando se ensaye sobre intervalos de no menos de 15 min.

**4.6 Equipos Eléctricos para Medir el Tiempo.** Se pueden usar solamente en circuitos eléctricos de frecuencia controlada a una exactitud de 0,05 % o mejor.

**Nota 6:** Cuando se usan equipos medidores eléctricos de tiempo, las frecuencias de las corrientes alternas, que son intermitentes y no continuamente controladas, como el sistema de fuerza suministrado al consumo público, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

## 5.- Preparación de la Muestra.

**5.1** Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que llegue a estar lo suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente mezcle la muestra para ayudar al intercambio de calor y asegurar uniformidad. La máxima temperatura no debe exceder de 80 a  $110^{\circ}\text{C}$  por sobre las expectativas del punto de ablandamiento.

**5.2** Transfiera un mínimo de 20 ml dentro de una cápsula adecuada y caliente a  $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$ , mezclando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales y teniendo cuidado de no atrapar aire.

## 6.- Procedimiento de Ensaye.

**6.1** Los detalles específicos de operación cambian un poco para los diversos tipos de viscosímetros. Ver Lámina 8,302.15 A, Figuras 2, 3 y 4 y Anexos A1, A2 y A3 para información del viscosímetro seleccionado. En todo caso, cualquiera fuere el seleccionado, el procedimiento general por seguir se describe a continuación en 6.1 a) a h).

- a) Mantenga el baño a temperatura de ensaye dentro de  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ . Aplique las correcciones necesarias, si es el caso, a las lecturas del termómetro.
- b) Seleccione un viscosímetro limpio y seco, para un tiempo de flujo mayor que 60 s y precaliente a  $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$ .
- c) Cargue el viscosímetro vaciando la muestra ya preparada dentro de  $\pm 2$  mm de la línea de llenado E (Lámina 8.302.15.A, Figuras 2, 3 y 4).
- d) Coloque el viscosímetro cargado en un horno o baño a una temperatura de  $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$  por un periodo de  $10 \pm 2$  min, para dejar que escapen las burbujas de aire.
- e) Saque el viscosímetro del horno o baño y dentro de 5 min insértelo en el asidero del baño en posición vertical, tal que la marca superior para determinar tiempos esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- f) Establezca en el sistema de vacío, un vacío de  $300 \pm 0,5$  mm de mercurio y conéctelo al viscosímetro con la válvula en la línea principal para el viscosímetro.

- g) Después que el viscosímetro ha estado en el baño por  $30 \pm 5$  min, comience con el flujo de asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea principal del sistema de vacío.
- h) Mida dentro de 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre pares sucesivos de marcas de tiempo. Informe el primer flujo cuyo tiempo exceda de 60 s entre un par de marcas de tiempo, anotando la identificación del par de marcas de tiempo.

**6.2** La limpieza del viscosímetro es extremadamente importante. Cualquier método de limpieza se puede usar para lograr una superficie limpia y seca en el tubo. Un procedimiento recomendado es el que sigue: finalizado el ensaye, saque el viscosímetro del baño y colóquelo en posición invertida dentro de un horno a  $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$  hasta que el asfalto escurra completamente del viscosímetro. Limpie el viscosímetro completamente con varios lavados de un solvente apropiado, que sea totalmente miscible con la muestra y enseguida lave con un solvente totalmente volátil. Seque el tubo pasando un flujo lento de aire seco a través del capilar por 120 s o hasta que la última traza de solvente sea removida. Periódicamente limpie el instrumento con ácido crómico para remover depósitos orgánicos, lavando completamente con agua destilada y acetona libre de residuos y seque con aire limpio y seco.

## 7.- Cálculos.

**7.1** Seleccione el factor de calibración que corresponde al par de marcas de tiempos usados para la determinación, como se indica en 6.1 h). Calcule e informe la viscosidad para tres tipos de ensayes significativos usando la siguiente ecuación.

$$\text{Viscosidad (poises)} = K \times t$$

donde:

- K : Factor de calibración seleccionado (poises/ s).
- t : Tiempo de flujo (s).

**8.- Informe.** Siempre informe la temperatura de ensaye y el vacío aplicado, junto con los resultados del ensaye de viscosidad. Por ejemplo, viscosidad absoluta en poises, (Pa · s) a  $60^\circ\text{C}$  y a un vacío de 300 mm de Hg.

**9.- Precisión.** Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de resultados (95 % probabilidad) (ver Nota 1).

**9.1 Repetibilidad.** Resultados duplicados de un mismo operador usando el mismo viscosímetro, no serán considerados dudosos al menos que ellos difieran en más de un 7 % de su media.

**9.2 Reproducibilidad.** Los resultados de dos laboratorios diferentes no serán considerados dudosos, al menos que ellos difieran en más de un 10 % de su media.

## ANEXO

### A 1 VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO CANNON – MANNING

**A 1.1 Alcances.** El viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning está disponible en once tamaños (Tabla 8.302.15.A1.A), abarcando un rango de 0,036 a 80.000 poises. Los tamaños 10 a 14 son los más adecuados para medidas de viscosidad de cementos asfálticos a 60°C.

**A 1.2 Aparatos.** La Lámina 8.302.15.A, Figura 2, muestra detalles del diseño y construcción del viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning. El número que define el tamaño, los factores de bulbo aproximados, K y rangos de viscosidad se dan en la Tabla 8.302.15.A1.A.

**A 1.2.2.** Para todos los tamaños de viscosímetros la medida de volumen del bulbo C es aproximadamente tres veces más que la del bulbo B.

**A 1.2.3.** Puede hacerse un portador adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro, respectivamente, a través de un tapón de goma N° 11. La distancia entre centros de los orificios será de 25 mm. Ranure el tapón de goma entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando lo coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, los tapones afirmarán el viscosímetro en su lugar.

### A 2 VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

**A 2.1. Alcances.** Los viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto están disponibles en cinco tamaños (Tabla 8.302.15.A2.A.), abarcando un rango de 42 a 200.000 poises. Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60°C.

#### A. 2.2. Aparatos.

**A 2.2.1** La Lámina 8.302.15.A, Figura 3, muestra detalles del diseño y construcción de los viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto. El número que define el tamaño, radios aproximados, factor del bulbo aproximado, K y rangos de viscosidad para la serie de viscosímetros del Instituto del Asfalto se indican en la Tabla 8.302.15.A2.A.

**A 2.2.2** El viscosímetro tiene medidas de los bulbos B, C y D ubicados en el brazo del viscosímetro M, el cual tiene un capilar de vidrio taladrado a precisión. Las medidas de los bulbos son de 20 mm de longitud del segmento capilar, separadas por las marcas de tiempo F, G, H e I.

**A 2.2.3.** Puede hacerse un portador adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro respectivamente, a través de un tapón de goma N° 11. La distancia entre centros de los orificios será de 25 mm. Ranure el tapón de goma entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando lo coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, los tapones afirmarán el viscosímetro en su lugar.

### A 3. VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO KOPPERS MODIFICADO

**A 3.1 Alcances.** Los viscosímetros de vacío Koppers Modificado están disponibles en cinco tamaños (Tabla 8.302.15.A3.A.) abarcando un rango de 42 a 200.000 poises. Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60°C.

#### A 3.2 Aparatos.

**A 3.2.1** La Lámina 8.302.15.A, Figura 4, muestra detalles del diseño y construcción del viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado. El número que define el tamaño, radio aproximado, factores de bulbo aproximado K y rango de viscosidad para la serie de viscosímetros Koppers Modificado, se indican en la Tabla 8.302.15A3.A.

A 3.2.2. El viscosímetro consiste de un tubo de llenado separado A, y un tubo capilar de vacío de vidrio taladrado a precisión, M. Estas dos partes están unidas por una junta de vidrio deslustrado, N, teniendo una tapa normal 24/40. Las medidas de los bulbos B, C y D, en el capilar de vidrio, son segmentos del capilar de 20 mm de longitud, separados por las marcas de tiempo F, G, H e I.

A 3.2.3. Puede hacerse un portaviscosímetro taladrando un orificio de 28 mm a través del centro de un tapón de goma N°11 y ranurando el tapón entre el orificio y el borde. Cuando se coloca en el orificio de 50 mm de diámetro de la tapa del baño, debe sostener el viscosímetro en su lugar.

#### A 4 CALIBRACION DE VISCOSIMETROS

**A 4.1. Alcances.** En este Anexo se describen los procedimientos y materiales que se utilizan para calibrar o comprobar la calibración de los viscosímetros usados en este método.

**A 4.2 Materiales de Referencia.** Viscosidades normales que tengan aproximadamente una de las viscosidades absolutas, se entregan en la Tabla 8.302.15.A4.A.

**A 4.3 Calibración.** El viscosímetro de vacío se calibra mediante viscosidad normal como sigue:

**A 4.3.1** Seleccione de la Tabla 8.302.15.A4.A, una viscosidad normal que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.

**A 4.3.2** Cargue un viscosímetro limpio y seco vaciando la muestra dentro de  $\pm 2$  mm de la línea de llenado E (ver Lámina 8.302.15.A, Figuras 2, 3 y 4).

**A 4.3.3** Coloque el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración a  $\pm 0,03^\circ$  C.

**A 4.3.4** Establezca, con el sistema de vacío, un vacío de  $300 \pm 0,5$  mm Hg y conéctelo al viscosímetro con la válvula en la línea principal para el viscosímetro.

**A 4.3.5.** Después que el viscosímetro ha estado en el baño por  $30 \pm 5$  min, inicie el flujo del líquido patrón en el viscosímetro, abriendo la válvula de la línea principal del sistema de vacío.

**A 4.3.6.** Mida dentro de 0,1 s, el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre las marcas del tiempo F y G. Usando un segundo cronómetro, también mida dentro de 0,1 s, el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre las marcas G y H. Si el instrumento contiene marcas de tiempo adicional, determine en forma similar el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

**A 4.3.7** Calcule el factor de calibración K, para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{V}{t}$$

donde:

- K : Factor de calibración del bulbo del viscosímetro, poises por segundo a 300 mm Hg.
- V : Viscosidad absoluta del líquido normal a la temperatura de calibración, en poises.
- t : Tiempo de flujo, en segundos.

**A 4.3.8** Repita el procedimiento de calibración usando la misma u otra viscosidad normal. Anote el promedio de la constante de calibración K, para cada bulbo.

**Nota 7:** Las determinaciones en duplicado de la constante de calibración K, para cada bulbo, deben estar dentro del 2 % de su medida.

**Nota 8:** Las constantes del bulbo son independientes de la temperatura.

**A 4.4** Calibración de un Viscosímetro de Vacío Mediante un Viscosímetro de Vacío Normal. Calibre el viscosímetro de vacío como sigue:

**A 4.4.1** Seleccione un producto asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 s. Seleccione también un viscosímetro con la constante del bulbo conocido.

**A 4.4.2** Monte el viscosímetro normal junto con el viscosímetro a ser calibrado en el mismo baño a 60° C y determine los tiempos de flujo del asfalto por el procedimiento descrito en 8.302.15 numeral 6.1.

**A 4.4.3** Calcule la constante K, para cada bulbo como sigue:

$$K_1 = \frac{t_2 \times k_2}{t_1}$$

donde:

$K_1$  : Constante del bulbo del viscosímetro calibrado.

$t_1$  : Tiempo de flujo que corresponde al bulbo del viscosímetro calibrado.

$K_2$  : Constante del bulbo del viscosímetro normal.

$t_2$  : Tiempo de flujo que corresponde al bulbo del viscosímetro normal.

**TABLA 8.302.15.A1.A**  
**TAMAÑO DE VISCOSIMETROS NORMALES, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K Y RANGOS DE VISCOSIDAD PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO CANNON - MANNING**

Viscosímetro	Factor de Calibración Aproximado K <sup>a</sup> , Vacío de 300 mm Hg; poises por segundo		Rango de Viscosidades Poises <sup>b</sup>	
	Bulbo B	Bulbo C		
4	0,002	0,0006	0,036 a	0,8
5	0,006	0,002	0,12 a	2.4
6	0,02	0,006	0,36 a	8
7	0,6	0,02	1,2 a	24
8	0,2	0,06	3,6 a	80
9	0,6	0,2	12 a	240
10	2,0	0,6	36 a	800
11	6,0	2,0	120 a	2.400
12	20,0	6,0	360 a	8.000
13	60,0	20,0	1.200 a	24.000
14	200,0	60,0	3.600 a	80.000

**Notas:**

<sup>a</sup> Los factores de calibración exactos se deben determinar con viscosidades normales.

<sup>b</sup> Los rangos de viscosidad mostrados en esta tabla corresponden al tiempo de llenado de 60 a 400 s. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (sobre 1.000 s).

**TABLA 8.302.15.A2.A**  
**TAMAÑO VISCOSIMETROS NORMALES, RADIO DEL CAPILAR, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDADES PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.**

Viscosímetro Tamaño N°	Radio del Capilar, mm	Factor de Calibración Aproximado K <sup>a</sup> Vacío de 300 mm Hg; poises por segundo			Rango de Viscosidades poises <sup>b</sup>
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	2	1	0,7	42 a 800
50	0,25	8	4	3	180 a 3.200
100	0,50	32	16	10	600 a 12.800
200	1,0	128	64	40	2.400 a 52.000
400	2,0	500	250	160	9.600 a 200.000
400 R <sup>c</sup>	2,0	500	250	160	9.600 a 1.400.000
800 R <sup>c</sup>	4,0	2.000	1.000	640	38.000 a 5.800.000

**Notas:**

- <sup>a</sup> Los factores de calibración se deben determinar con viscosidades normales.  
<sup>b</sup> Los rangos de viscosidad mostrados en esta tabla corresponden al tiempo de llenado de 60 a 400 s. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (sobre 1.000 s)  
<sup>c</sup> Diseños especiales para asfaltos empleados en impermeabilización de techos, tienen marcas adicionales de 5 y 10 mm sobre la marca de tiempo R. Así, usando estas marcas, el rango de viscosidad máxima se aumenta con respecto al que se usó en el factor de calibración del bulbo B.

**TABLA 8.302.15.A3.A**  
**TAMAÑO DE VISCOSIMETROS NORMALES, RADIO DEL CAPILAR, FACTORES DE CALIBRACION APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDADES PARA VISCOSIMETROS CAPILARES DE VACIO KOPPERS MODIFICADO.**

Viscosímetro Tamaño N°	Radio del Capilar, mm	Factor de Calibración Aproximado K <sup>a</sup> Vacío de 300 mm Hg; poises por segundo			Rango de Viscosidades poises <sup>b</sup>
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	2	1	0,7	42 a 800
50	0,25	8	4	3	180 a 3.200
100	0,50	32	16	10	600 a 12.800
200	1,0	128	64	40	2.400 a 52.000
400	2,0	500	250	160	9.600 a 200.000

**Notas:**

- <sup>a</sup> Los factores de calibración se deben determinar con viscosidades normales.  
<sup>b</sup> Los rangos de viscosidad mostrados en esta Tabla corresponden al tiempo de llenado 60 a 400 s. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (sobre 1.000 s)

**TABLA 8.302.15.A4.A**  
**VISCOSIDAD NORMAL**

Viscosidad normal	Viscosidad Absoluta Aproximada (Poises)		
	A 20 °C	A 30 °C	A 37,8 °C
N 30.000	1.500	--	240
N 190.000	8.000	--	1.600
S 30.000	--	460	240

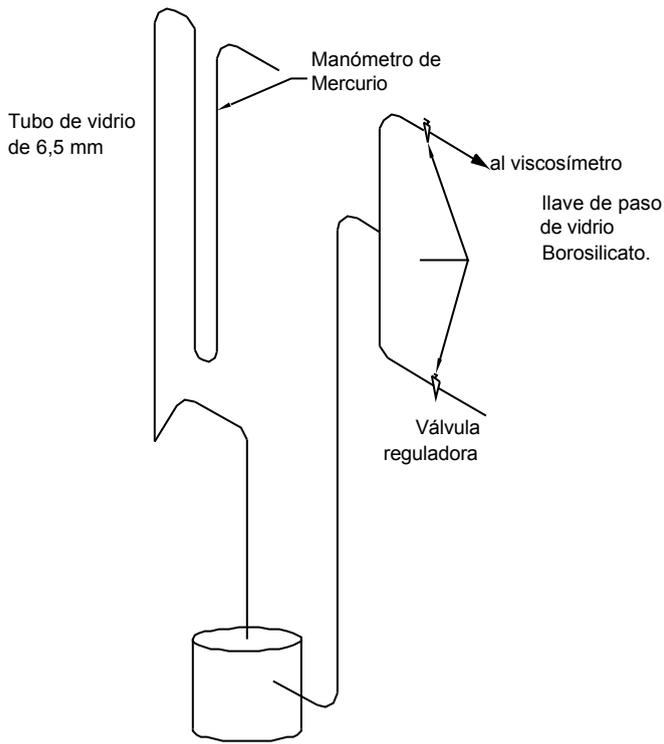


Figura 1.

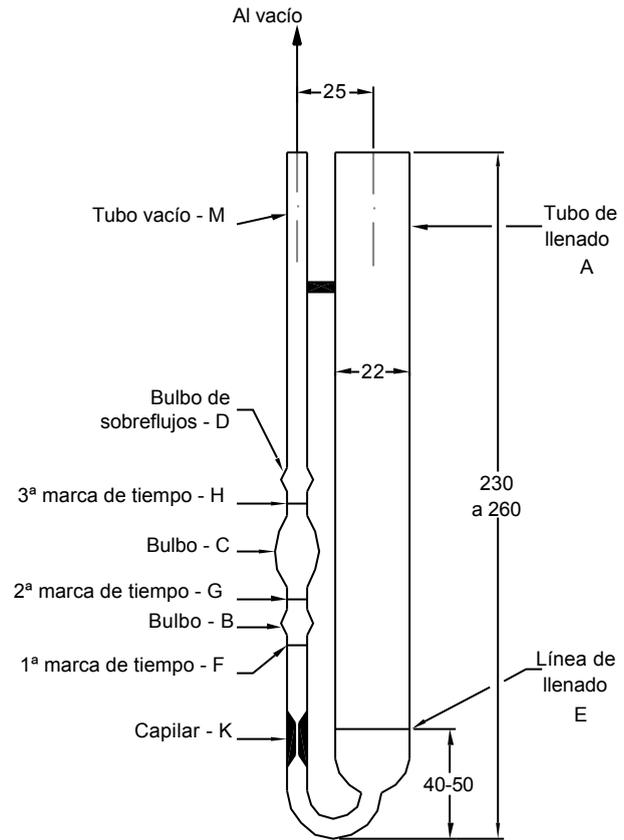


Figura 2.

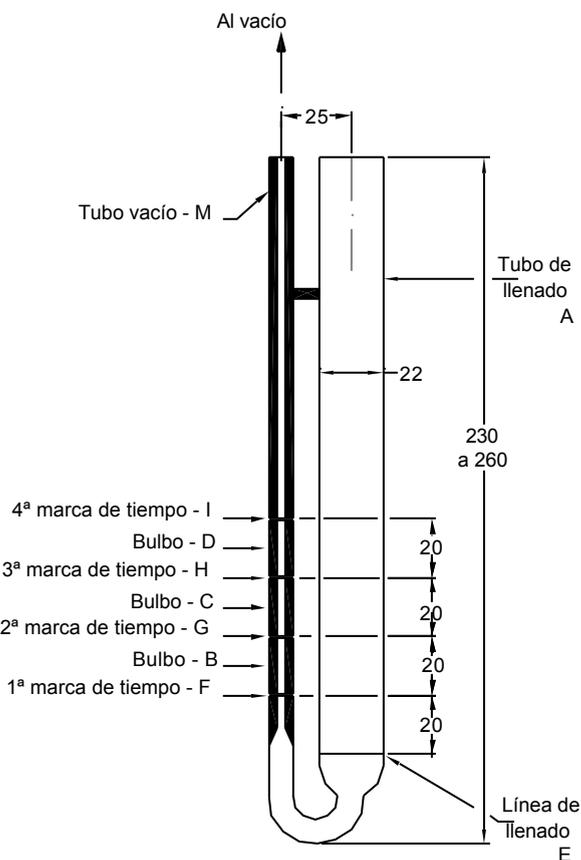


Figura 3.

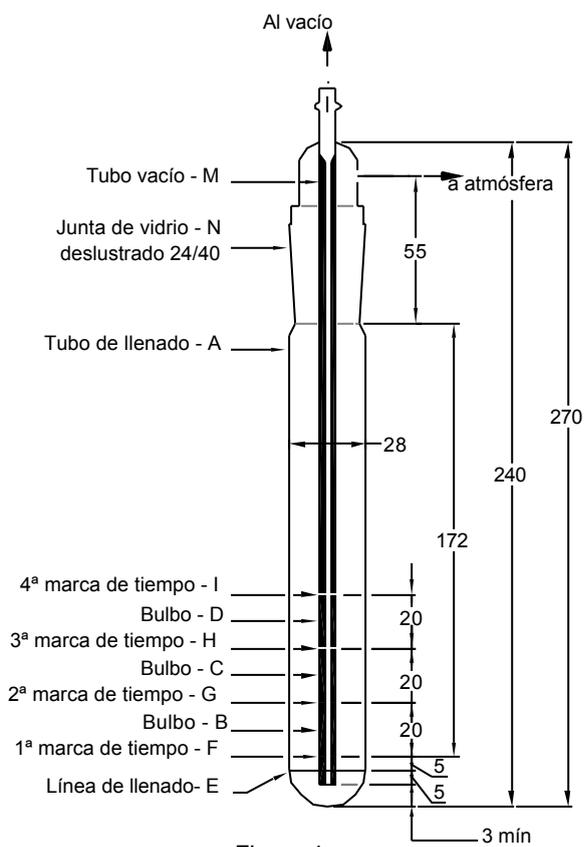


Figura 4.

Dimensiones en milímetros.

## 8.302.16 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

\*El Método 8.302.16 es una adaptación de la norma ASTM D 36 – 76.

**2.- Generalidades.** En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia, gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

### 3.- Terminología.

**3.1 Punto de Ablandamiento.** Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

### 4.- Aparatos.

#### 4.1 Equipo Normal.

- a) Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones que se muestran en la Lámina 8.302.16.A, Figura 1.
- b) Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre  $3,50 \pm 0,050$  g.
- c) Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas en la Lámina 8.302.16.A, Figura 3.

**4.2 Baño.** Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85 mm y una profundidad no menor que 120 mm.

**4.3 Soporte del Anillo.** El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte (Lámina 8.302.16.A, Figura 2), como se muestra en el conjunto en la Lámina 8.302.16.A, Figura 4.

- a) Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25 mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.
- b) El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

**4.4 Termómetros.** Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de  $-2^{\circ}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la norma ASTM E 1 y un ASTM 16C (rango 30 a  $200^{\circ}\text{C}$ ) para puntos de ablandamientos altos.

### 5.- Preparación de la Muestra.

**5.1** Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe

exceder de 110°C por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.

**5.2** Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensaye. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min a una temperatura mínima de 8°C por debajo del punto de ablandamiento esperado.

**5.3** Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensaye, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

#### **6.- Procedimiento para Materiales que Tengan un Punto de Ablandamiento Igual o Menor que 80°C.**

**6.1** Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110 mm. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensaye en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.

**6.2** Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

**Nota 1:** Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico: Sin embargo, el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar las temperaturas sin demora, para mantener la velocidad de calentamiento.

**6.3** La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensaye. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo, después de los tres minutos, será  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.

**6.4** Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede 1°C, repita el ensaye.

#### **7.- Procedimiento para Materiales que Tengan un Punto de Ablandamiento Mayor que 80° C.** Utilice el mismo procedimiento descrito en 8.302.166, con las siguientes modificaciones:

- a) Use glicerina en vez de agua.
- b) La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C.

#### **8.- Informe.**

**8.1** Calcule el promedio de los valores de las temperaturas registradas en el ensaye. Informe este valor con precisión de 0,5° C como el punto de ablandamiento para termómetros 16C, y de 0,2° C para termómetros 15C.

**8.2** Para materiales con un punto de ablandamiento cercano a 80°C, anote en el informe el tipo de baño utilizado, agua o glicerina; el baño de glicerina da un punto de ablandamiento mayor que el de agua.

**Nota 2:** La utilización de agua recién destilada es esencial, ya que de otra manera pueden formarse burbujas de aire en la muestra, lo cual afecta los resultados. El ceñirse a la velocidad prescrita de calentamiento es absolutamente esencial para la reproducibilidad de los resultados.

**9.- Precisión.** El siguiente criterio se debe utilizar para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

- a) Repetibilidad. La duplicidad del punto de ablandamiento obtenido por el mismo operador no se considerará dudoso a menos que difiera de ésta más de 1°C (desviación normal estimada 0,73%).
- b) Reproducibilidad. Los puntos de ablandamiento informados por cada uno de dos laboratorios, no se considerarán dudosos a menos que los dos informes difieran en más de 2°C (desviación normal estimada 1,26%).

Nota B: Este diámetro debe ser ligeramente más grande (aproximadamente 0,05 mm) que la dimensión "A" de fig. 1 Anillo-para deslizar sobre el anillo.

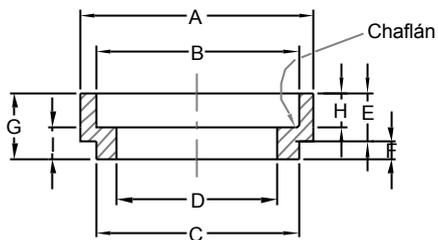
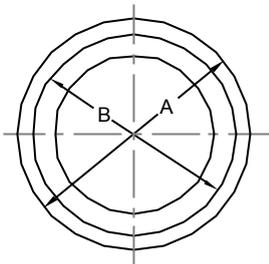


Fig. 1 anillos.

- A 23,1 mm ± 0,3 mm
- B 19,8 mm ± 0,3 mm
- C 19,1 mm ± 0,3 mm
- D 15,9 mm ± 0,3 mm
- E 4,4 mm ± 0,3 mm
- F 2,0 mm ± 0,3 mm
- G 6,4 mm ± 0,4 mm
- H 3,5 mm ± 0,3 mm
- I 2,8 mm ± 0,3 mm

Nota A: Este diámetro debe ser ligeramente más grande (aproximadamente 0,05 mm) que la dimensión "C" de la fig. 1 Anillos-para permitir la colocación del anillo. El ensamble final del bulbo del termómetro será a 12,7 mm de la bola.

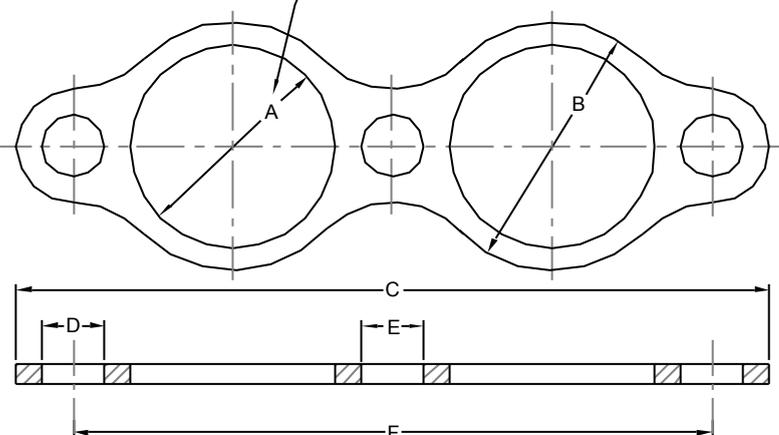
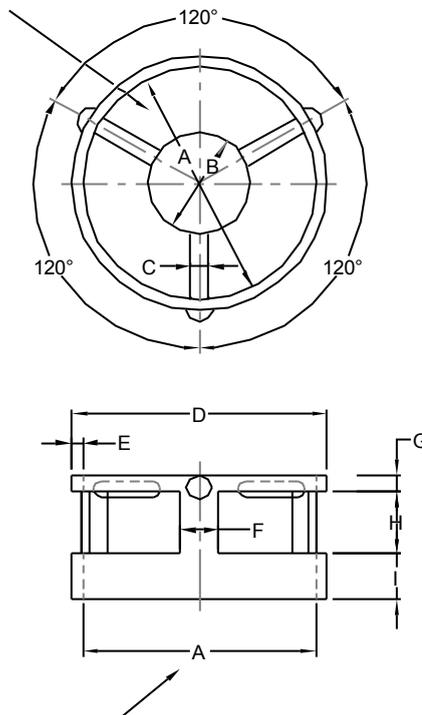


Fig. 2 Porta-anillos.

- A 19,1 mm ver Nota A
- B 23,9 mm ± 0,5 mm
- C 76,2 mm ± 0,5 mm
- D 5,6 mm ± 0,5 mm
- E 5,6 mm ± 0,5 mm
- F 66,5 mm ± 0,5 mm



Nota C : Esta dimensión debe ser ligeramente más grande (aprox. 0,05 mm) que 9,6 mm para permitir la colocación y centrado de la bola.

Fig. 3 guía para centrar la bola

- A 23,1 mm ver Nota B
- B 3,5 mm ver Nota C
- C 1,5 mm ± 0,6 mm
- D 24,6 mm ± 0,3 mm
- E 0,8 mm ± 0,5 mm
- F 3,0 mm ± 0,5 mm
- G 1,5 mm ± 0,3 mm
- H 4,8 mm ± 0,3 mm
- I 4,3 mm ± 0,3 mm

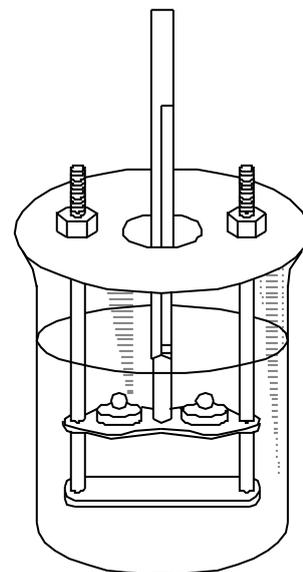


Fig. 4 Conjunto de dos anillos.

## 8.302.17 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento para determinar el punto de fragilidad de los materiales bituminosos de consistencia sólida o semisólida, por medio del aparato Fraass.

En el ensaye, una película del material se somete, en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraass la temperatura a la cual, debido a la consistencia adquirida por el material bituminoso, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

El Método 8.302.17 es una adaptación de la norma NLT 182/72.

### 2.- Referencias.

- Norma ASTM E1 Specification for ASTM. Thermometers.
- Método 8.302.16 Asfaltos: Método para Determinar el Punto de Ablandamiento con Aparato de Anillo y Bola.
- Método 8.302.2 Asfaltos: Método para Determinar la Densidad.

### 3.- Equipos y Materiales.

**3.1 Mecanismo de Flexión** (Lámina 8.302.17.B). Consiste en dos tubos concéntricos, uno exterior fijo y otro interior móvil, construidos de un material aislante. Por la parte inferior, los tubos terminan en una garra o mandíbula de acero fijada sólidamente y separadas una distancia máxima de  $40 \pm 0,1$  mm. En la zona comprendida entre las mandíbulas (B), el tubo móvil lleva unas aberturas longitudinales, con el fin de que el bulbo del termómetro que va alojado en él quede al descubierto. En la parte superior este tubo va unido a una espiga metálica (A), deslizante a lo largo de un cono (I) comandado por la manivela (C). Diez a doce vueltas de esta manivela deben producir un acortamiento máximo de  $3,5 \pm 0,2$  mm en la distancia entre ambas mandíbulas.

**3.2 Placas de Ensaye.** Son láminas planas, de acero inoxidable y forma rectangular, de las siguientes dimensiones: largo  $41 \pm 0,5$  mm, ancho  $20 \pm 0,2$  mm y espesor  $0,15 \pm 0,02$  mm.

**Nota 1:** Cuando no se utilicen, las placas de ensaye deben mantenerse apoyadas sobre una superficie plana.

**3.3 Aparato de Enfriamiento** (Lámina 8.302.17.A). Está formado por tres tubos de vidrio, un tubo E colocado excéntricamente en el interior de un segundo tubo G de mayor diámetro, por intermedio de un tapón de goma F, en cuyo orificio lateral va inserto un embudo H. El conjunto va suspendido por un tapón de goma o corcho, en el interior de un tercer tubo K. Todos los tubos van cerrados por su parte inferior y en el fondo de los designados como E y K, se coloca una pequeña cantidad de un producto desecante como, por ejemplo, cloruro cálcico. El mecanismo de flexión se coloca en el interior del tubo E por medio de un tapón de goma D.

**3.4 Termómetro.** Un termómetro de varilla IP 42 C, que cumpla con la norma ASTM E1, de las siguientes características:

Escala.....	- 38 °C a + 30 °C
Graduación.....	0,5 °C
Inmersión ( mm).....	250
Longitud total (mm).....	$370 \pm 10$
Forma del bulbo.....	cilíndrica
Longitud del bulbo (mm).....	10 a 16
Diámetro de la varilla (mm).....	6,0 a 7,0
Diámetro del bulbo (mm).....	no mayor que el de la varilla
Longitud de la parte graduada (mm).....	no menor que 60
Error máximo de la escala.....	$\pm 0,5^\circ$ C

La escala del termómetro deberá estar marcada con líneas más largas cada 1° C y numerada cada 5° C. La cámara de expansión debe permitir un calentamiento del termómetro hasta 80° C. Para una correcta inmersión dentro del aparato, el termómetro llevará un ensanchamiento uniforme de la varilla de 8 a 10 mm de diámetro y a una distancia del fondo del bulbo de  $250 \pm 2$  mm.

**3.5 Placa de Calentamiento y Soporte.** Para permitir y regular la correcta distribución del material sobre la placa de ensaye, se debe disponer de una placa metálica para calentamiento, de aproximadamente 5 mm de espesor y cuya cara superior sea perfectamente plana. Coloque esta placa sobre un trípode con tornillos de nivelación y provisto de un plato calefactor de 1 a 2 mm de espesor, situado a una distancia aproximada de 50 mm por debajo de la cara superior de la placa de calentamiento.

**3.6 Balanza de Precisión.** Con resolución de 0,01 g.

#### 4.- Preparación de la Muestra de Ensaye.

**4.1 Eliminación del Agua.** Si la muestra contiene agua, elimínela mediante calentamiento uniforme a una temperatura que no exceda de 130° C, con agitación constante.

**4.2 Materiales con Punto de Ablandamiento Inferior que 70° C.** Coloque a temperatura ambiente  $0,40 \pm 0,01$  cm<sup>3</sup> del material sobre una placa de ensaye tarada, limpia y seca (Nota 2). Ubique a continuación la placa con el material sobre la placa de calentamiento previamente nivelada y comience a calentar suavemente el plato calefactor, pudiendo inclinar la placa con objeto de favorecer la distribución del material, hasta que quede completamente cubierta. Mantenga durante un corto lapso de tiempo en posición horizontal y en caliente, para conseguir una superficie lisa del material. Enfríe la placa y pese nuevamente.

**4.3 Materiales con Punto de Ablandamiento Superior que 70° C.** Coloque, a temperatura ambiente,  $0,40 \pm 0,01$  cm<sup>3</sup> del material sobre una placa de ensaye tarada, limpia y seca (Nota 2). Ubique, a continuación, la placa con el material sobre la placa de calentamiento previamente nivelada y comience a calentar suavemente el plato calefactor hasta que la muestra alcance la consistencia apropiada para moldearse con los dedos, pero sin adherirse a los mismos. Extienda la muestra hasta que cubra toda la placa y, finalmente, deje en reposo en caliente hasta obtener una superficie lisa del material. Deje enfriar la placa y pese nuevamente (Nota 3).

**Nota 2:** En materiales bituminosos normales, sin aditivos, con densidades, a 25° C, comprendidas entre 0,99 y 1,07 g/cm<sup>3</sup>, deben pesarse una cantidad de muestra de  $0,40 \pm 0,01$  g.

**Nota 3:** En materiales bituminosos de alto punto de ablandamiento o muy volátiles puede ser aconsejable el empleo de una prensa en la preparación de las placas de ensaye, como la de Jost, formada por dos bloques metálicos termostatizados, de caras planas y paralelas, entre los que se coloca la placa de ensaye con una cantidad de muestra algo superior a la especificada. Mediante espaciadores o rebajes superficiales en alguno de los bloques, se comprime y extiende el material hasta el espesor correspondiente al volumen especificado. Para evitar que el material se adhiera a las caras de la prensa se pueden interponer láminas de celofán virgen, que se despegan posteriormente de la muestra por inmersión en agua fría. Finalmente se recorta el exceso de material que sobresalga de la placa de ensaye.

**4.4 Eliminación Burbujas.** Para la eliminación de eventuales burbujas en la película del material se recomienda un enfriamiento brusco de la muestra, comprimiéndola con nieve carbónica sólida y calentando de nuevo hasta obtener una superficie lisa.

**4.5 Evitar Alteraciones.** Para evitar alteraciones de las muestras, se recomienda que los períodos totales de calentamiento no excedan de 10 min y que la temperatura del material no sobrepase en 70 a 80° C la del punto de ablandamiento.

**4.6 Ensaye.** Las placas preparadas se dejan en reposo en posición horizontal y protegidas del polvo, debiendo ser ensayadas dentro de un período comprendido entre 1 y 4 h.

## 5.- Procedimiento de Ensaye.

**5.1** Llene con acetona el espacio anular entre los tubos E y G hasta la mitad de su altura. Montar, curvando suavemente, la placa por ensayar entre las mandíbulas del mecanismo de flexión y coloque éste en el interior del tubo E. Inserte el termómetro en el interior del tubo móvil y añada nieve carbónica sólida a la acetona a través del embudo, de forma tal que la temperatura descienda a una velocidad uniforme de 1° C por min. Cuando se alcance una temperatura por lo menos superior en 10° C a la supuesta para el Punto de Fragilidad, realice, cada 1 min, una prueba de flexión, girando la manivela a la velocidad de una vuelta por segundo hasta el tope final, volviendo a girar sin interrupción en sentido contrario a la misma velocidad, hasta volver a su posición inicial.

**5.2** Determine la temperatura a que aparece la primera fisura o rotura a la flexión en la superficie del material.

**5.3** Efectúe al menos tres determinaciones del presente ensaye.

## 6.- Resultados.

**6.1** Se denomina Punto de Fragilidad Fraass la temperatura en grados Celsius obtenida como el valor promedio de tres determinaciones, las que no deben diferir entre sí en más de 3° C. El resultado se expresará con aproximación de 1° C.

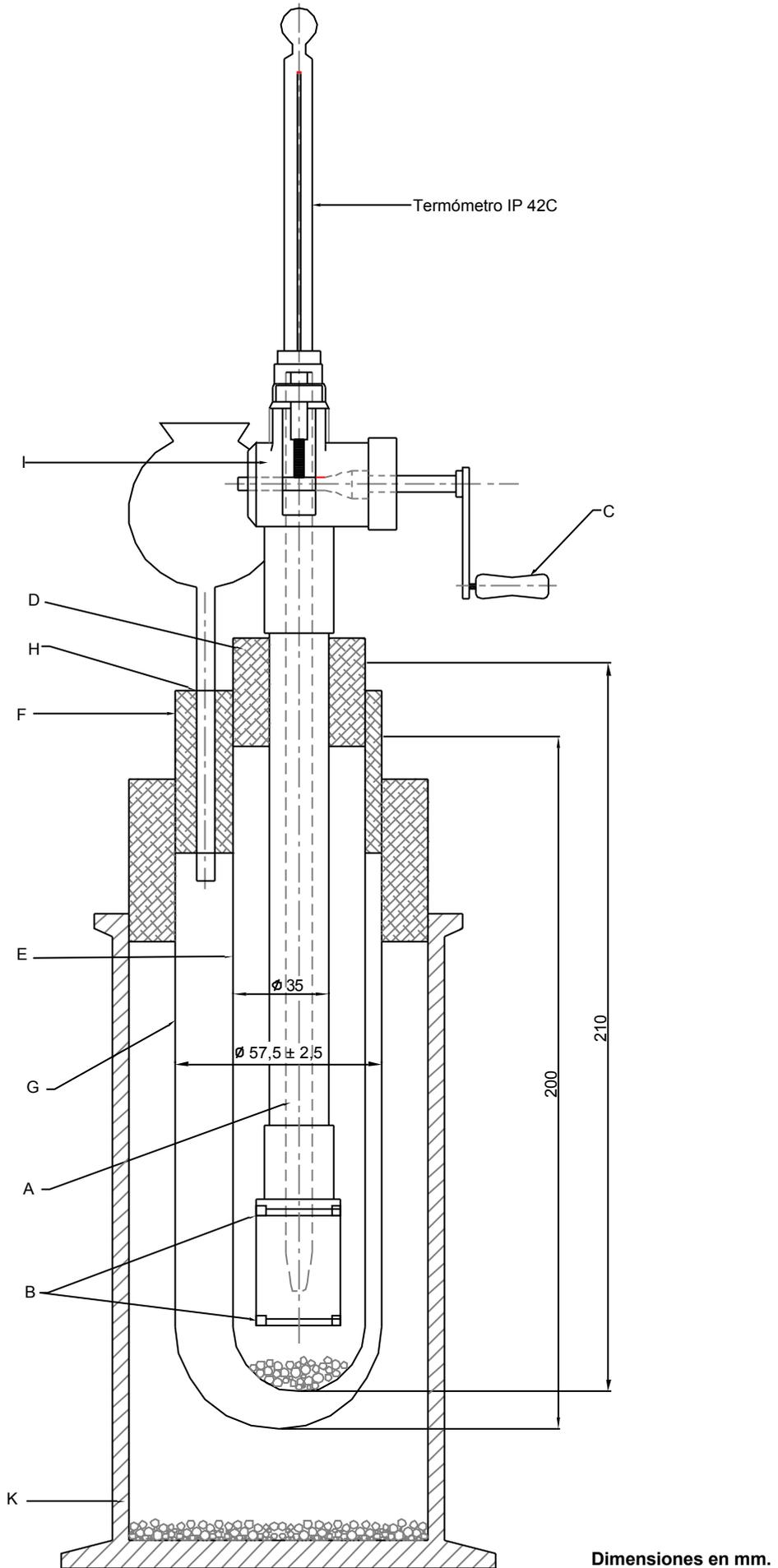
**6.2 Repetición.** Los resultados obtenidos para el Punto de Fragilidad por repetición del ensaye no deberán diferir entre sí en más de 2° C.

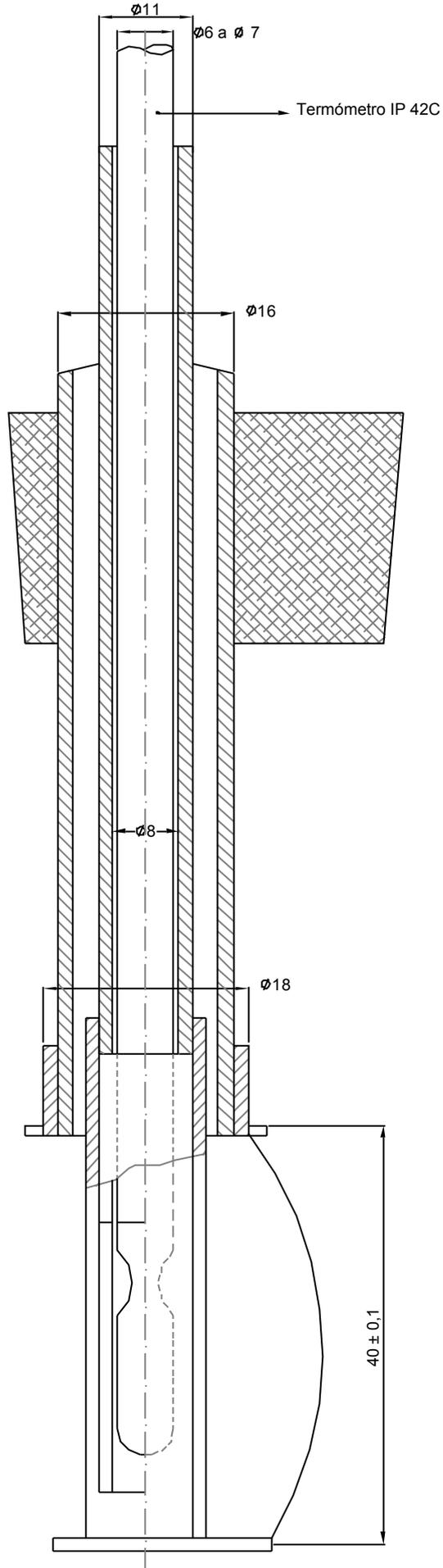
## 7.- Observaciones.

**7.1** Debe comprobar frecuentemente que la distancia entre las mandíbulas sea la correcta, actuando, si fuese preciso, sobre el tornillo de ajuste que lleva el mecanismo de flexión.

**7.2** Es imprescindible que las placas de ensaye se conserven rigurosamente planas y sin defectos, debiendo mantenerse un estrecho control sobre las dimensiones y estado de las mismas.

**7.3** Para una mejor apreciación del Punto de Fragilidad suele ser útil la iluminación de la muestra con una lámpara de 10 W, colocada a unos 10 cm de distancia y que deberá encenderse solamente durante los períodos de flexión.





Dimensiones en mm.



## 8.302.18 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TERMICA MEDIANTE EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

1.1 A partir de cuatro ensayos reológicos: Penetración, Punto de Ablandamiento anillo y bola, Punto de Fragilidad Fraass y medidas de viscosidad; Heukelom elaboró en 1969 un nomograma para caracterizar los ligantes asfálticos desde el punto de vista de su comportamiento reológico, y que permite obtener información sobre el origen y tratamiento de éstos.

1.2 Los ensayos de penetración y de viscosidad se efectúan bajo las siguientes condiciones:

- Ensaye de Penetración: 100 g , 25 ° C, 5 s.
- Ensaye de Viscosidad Absoluta: 60° C, 300 mm Hg de presión de vacío.
- Ensaye de Viscosidad Cinemática: 135° C.

### 2.- Referencias.

- Método 8.302.3 Asfalto: método de ensaye de penetración.
- Método 8.302.16 Asfalto: método de ensaye para determinar el punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola.
- Método 8.302.13 Asfalto: método de ensaye para determinar la viscosidad cinemática.
- Método 8.302.15 Asfalto: método de ensaye para determinar la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío.
- Método 8.302.17 Asfalto: método de ensaye para determinar el punto de fragilidad Fraass.

### 3.- Determinación del Índice de Susceptibilidad Térmica.

#### 3.1 Nomograma de Heukelom.

- a) El Nomograma de Heukelom, tal como muestra la Lámina 8.302.18.A, tiene en la abscisa principal una escala lineal de temperatura y en las ordenadas dos escalas logarítmicas: una, en el sector superior izquierdo donde se encuentran los valores de penetración y la otra, en el sector inferior derecho donde se encuentran los valores de viscosidad. Este nomograma tiene además dos abscisas intermedias: una para el Punto de Fragilidad Fraass y otra para el Punto de Ablandamiento de anillo y bola. El diagrama se completa con un punto ubicado en la parte superior y una escala de Índice de Penetración o Índice de Pfeiffer.
- b) Con los valores obtenidos de los ensayos de Penetración, Punto de Ablandamiento, Punto de Fragilidad Fraass, Viscosidad Cinemática y Viscosidad Absoluta, se traza la mejor recta, la cual se traslada en forma paralela hasta el punto ubicado en la parte superior del diagrama. La intersección de esta última recta con la escala de Índice de Penetración entrega el valor de IP.
- c) En función de la representación obtenida, Heukelom clasifica los ligantes asfálticos en tres tipos:
  - **Tipo S:** Corresponden a este tipo los ligantes de destilación directa (Straight) normalmente utilizados en pavimentación, representados por una línea recta.
  - **Tipo W:** Corresponden a este tipo los ligantes parafínicos (Wax), representados por dos rectas sensiblemente paralelas y con una zona intermedia de discontinuidad. La zona de transición es consecuencia de los posibles estados de cristalización (fusión de las parafinas).
  - **Tipo B:** Corresponden a este tipo los ligantes soplados (Blown), representados por dos rectas que se cortan. A bajas temperaturas la recta tiene menor pendiente que la obtenida a altas temperaturas.

En la Lámina 8.302.18.B se representan los tipos de ligante mencionados anteriormente.

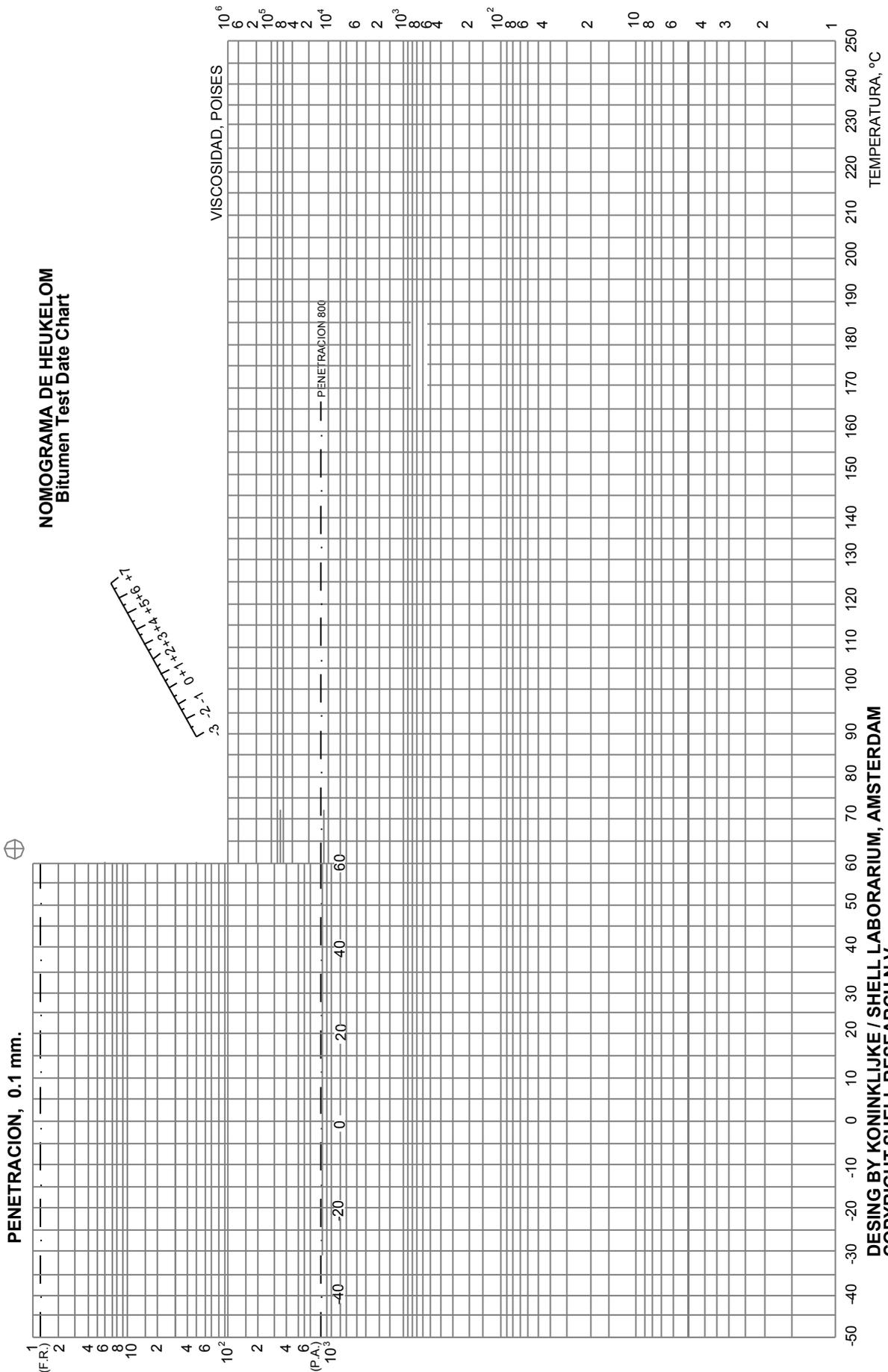
A partir de las representaciones obtenidas con este nomograma es posible evaluar el comportamiento reológico de los ligantes asfálticos, así como también determinar en forma indirecta la presencia de parafinas y si ha habido durante su fabricación algún proceso de soplado.

### 3.2 Índice de Penetración o Índice de Pfeiffer.

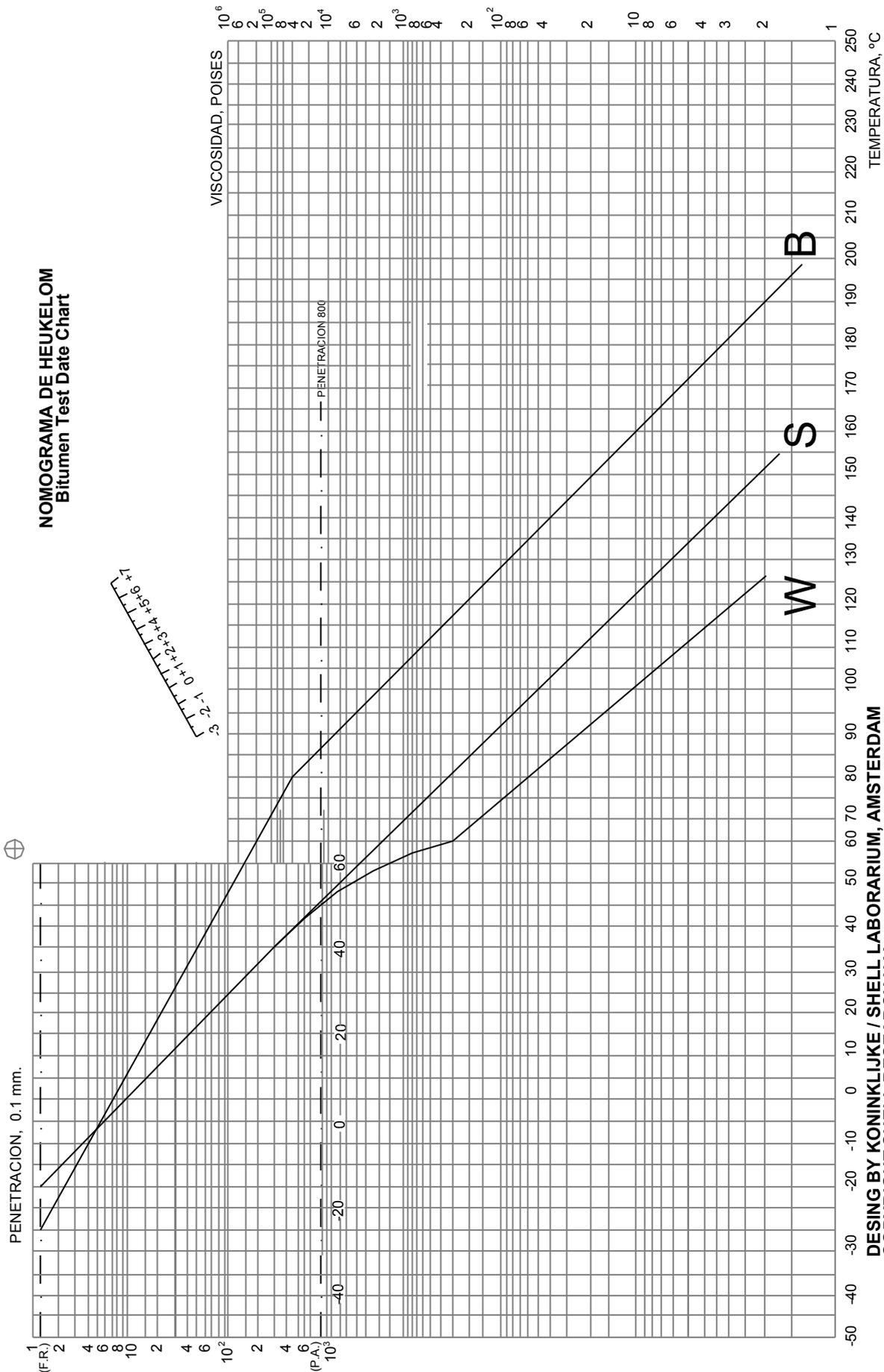
- a) Proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos a los cambios de temperatura, dando además una indicación de su estructura coloidal y de su comportamiento reológico.
- b) En función del valor de IP obtenido, los ligantes asfálticos se pueden clasificar en:
- Asfaltos con  $IP > +1$ : Son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad y tixotropía. Corresponden a este grupo los asfaltos soplados.
  - Asfaltos con  $IP < -1$ : Son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano.
  - Asfaltos con  $-1 < IP < +1$ : Poseen características, reológicas y de flujo, intermedias entre los dos casos anteriores. La mayoría de los ligantes asfálticos empleados en pavimentación presentan valores de IP comprendidos en este rango.

4.- **Informe.** Exprese e informe el IP obtenido del Nomograma de Heukelom (Lámina 8.302.18.A), con aproximación a un decimal.

**NOMOGRAMA DE HEUKELOM**  
Bitumen Test Date Chart



DESING BY KONINKLIJKE / SHELL LABORARIUM, AMSTERDAM  
COPYRIGHT SHELL RESEARCH N.V.



DESING BY KONINKLIJKE / SHELL LABORARIUM, AMSTERDAM  
COPYRIGHT SHELL RESEARCH N.V.

## 8.302.19 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE RECUPERACION ELASTICA PARA ASFALTOS MODIFICADOS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. El ensaye se efectúa a una temperatura de  $13 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5%. Para materiales bituminosos poliméricos se considera una elongación inicial de 20 cm para la muestra.

\* El Método 8.302.19 es una adaptación de la norma DIN 52013.

### 2.- Referencias.

- Norma DIN 52013.
- Método 8.302.9 Asfalto: Método para determinar la ductilidad.
- ASTM E 1 Specification for ASTM Thermometers.
- ASTM E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Este método establece un procedimiento para determinar el grado de elasticidad de un asfalto modificado, cuando dos extremos de una briqueta confeccionada con la muestra son estirados hasta una determinada distancia, a una velocidad y temperatura predeterminada, después de lo cual se corta a una distancia equidistante de ambos extremos. Transcurrido un tiempo se calcula la longitud de la contracción sufrida por la muestra, con la cual se determina la recuperación elástica porcentual.

### 4.- Equipos y Accesorios.

**4.1 Moldes.** Similares en diseño a los mostrados en la Lámina 8.302.19 A, Figura 1. De bronce o zinc. Sus extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a' lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican más abajo.

**4.2 Desmoldante.** Silicona, vaselina u otro.

**4.3 Baño de Agua.** El baño se debe mantener a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de  $\pm 0,1$  °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. La muestra se sumerge a una profundidad no menor que 10 cm y se apoya sobre una bandeja perforada ubicada a no menos de 5 cm del fondo del baño.

**4.4 Termómetro.** El termómetro a utilizar será ASTM 63 C, con un rango de temperatura entre - 8 y 32 °C. Deberá cumplir los requerimientos descritos en especificación E1.

**4.5 Ductilímetro.** Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo tal que la muestra esté continuamente sumergida en agua como se especifica en 4.3, al mismo tiempo que los clips sean traccionados a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termoregulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 5.3.

**4.6 Regla.** Graduada en mm y de longitud no inferior que 30 cm.

### 5.- Procedimiento de Ensaye.

**5.1 Preparación del Molde.** Arme el molde sobre una placa base. Cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (Lámina 8.302.19 A, figura 1) con una película delgada de desmoldante, para prevenir que el material a ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

**5.2 Moldeo de las Muestras para el Ensaye.** Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter; durante el calentamiento la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamice la muestra fundida a través del tamiz N° 50 conforme a la especificación ASTM E 11. Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado se cuidará de no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta. Vierta el material con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Este se dejará enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min para luego colocarlo por 30 min en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensaye especificada. Luego corte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

**5.3 Conservación de las Muestras a la Temperatura de Ensaye.** Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min a la temperatura especificada. Luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a', e inmediatamente ensaye la briqueta.

**5.4 Ensaye.** Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro, y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta una longitud de 20 cm ( $L_i$ ). Detenga el motor cuando el estiramiento de la muestra alcance la longitud indicada. Corte la muestra a una distancia equidistante de los extremos de la briqueta. Espere una hora y mida la distancia de retracción de la muestra ( $L_f$ ), expresando ésta en cm con aproximación a 1 decimal.

**Nota 1:** Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensaye no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensaye.

## 6.- Informe.

**6.1** Informe el porcentaje de recuperación elástica como:

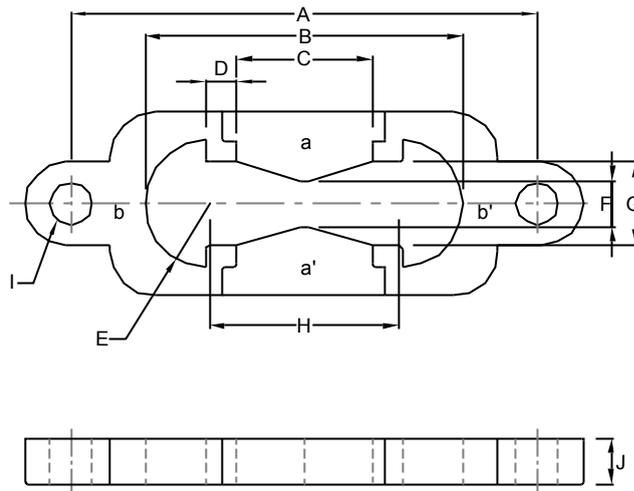
$$R_e (\%) = \frac{L_f}{L_i} \cdot 100$$

donde:

- $R_e$  : Porcentaje de recuperación elástica, aproximado al entero más cercano.
- $L_i$  : 20 cm.
- $L_f$  : Longitud de retracción de la muestra (cm), con aproximación a 1 decimal.

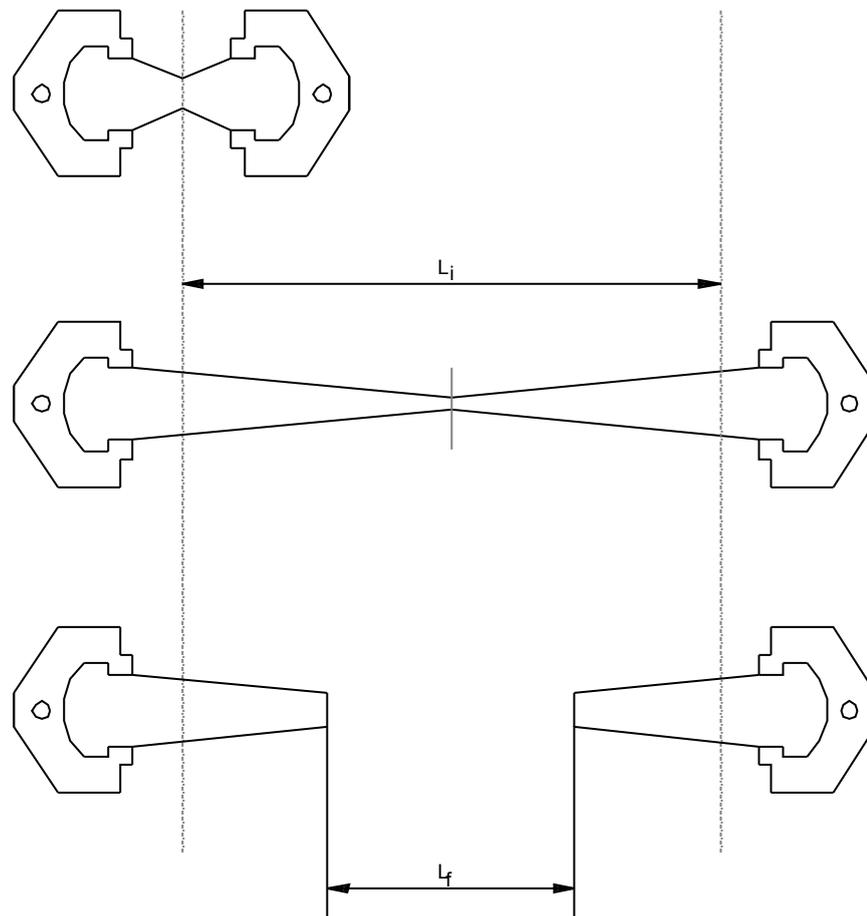
**6.2** Los resultados obtenidos de dos determinaciones consecutivas no deberán diferir en más de 5 puntos porcentuales. Si no se cumple esta condición, se repetirá el ensaye con dos nuevas determinaciones.

FIGURA 1



- A.- Distancia entre los centros : 111,5 a 113,5 mm.
- B.- Largo total de la brigueta : 74,5 a 75,5 mm.
- C.- Distancia entre clips : 29,7 a 30,3 mm.
- D.- Borde del clip : 6,8 a 7,2 mm.
- E.- Radio del clip : 15,75 a 16,25 mm.
- F.- Ancho mínimo de la sección transversal : 9,9 a 10,1 mm.
- G.- Ancho de la boca del clip : 19,8 a 20,2 mm.
- H.- Distancia entre los centros de radio : 42,9 a 43,1 mm.
- I.- Diámetro del orificio del clip : 6,5 a 6,7 mm.
- J.- Espesor : 9,9 a 10,1 mm.

FIGURA 2





## **8.302.20 ASFALTOS: METODOS DE ENSAYE PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT.**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento que debe seguirse para valorar la adhesividad, así como la resistencia al desprendimiento existente entre los áridos y el residuo asfáltico de una emulsión asfáltica polimérica, mediante la placa Vialit.

El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, en los que se utiliza como ligante una emulsión asfáltica polimérica. También se puede aplicar para evaluar emulsiones asfálticas convencionales.

El ensayo consiste en incrustar cien gravillas calibradas sobre una película de ligante extendida en una placa metálica; una vez curado el ligante, se coloca la placa invertida sobre tres apoyos horizontales y se la somete al impacto producido por la caída de una bola de acero, valorando el estado de las gravillas desprendidas y de las que han permanecido adheridas a la placa.

Mediante el ensayo se valora la adhesividad así como la resistencia al despegue o agarre que presenta la unión árido-ligante en este tipo de materiales, tanto con áridos inicialmente en estado seco como en estado húmedo. También puede ser útil para evaluar la eficacia de mejoradores de adhesión.

### **2.- Aparatos.**

**2.1 Placa de ensayo.** Son placas de acero perfectamente planas y de forma cuadrada, de 200 mm por lado y 2 mm de espesor, provistas de un pequeño reborde lateral que haga estanco el recipiente, bien mediante una tira soldada en su periferia o doblando en ángulo recto sus bordes. En cualquier caso, debe quedar para ensayo una superficie mínima cuadrada de 185 mm por lado. Es fundamental para la correcta realización del ensayo que la superficie de la placa sea rigurosamente plana, desechando las que presenten una desviación superior a 0,5 mm.

**2.2 Bola.** Una bola de acero de 50 mm de diámetro y  $500 \pm 5$  g de masa.

**2.3 Rodillo de Compactación.** Un rodillo con la forma y dimensiones que se indican en la Lámina 8.302.20 A, con banda de rodadura de caucho y que permita una compactación con una carga total de 25 Kg.

**2.4 Dispositivo para Ensayo.** Consta esencialmente de un bastidor metálico formado por una base de nivelación, con dos niveles de burbuja y tornillos de ajuste, de las que salen tres varillas verticales terminadas en punta para el apoyo de la placa durante el ensayo. Unida a esta base va soldado un tubo vertical, terminado en su parte superior en una canaleta inclinada, desde la que cae la bola desde una altura de  $50 \pm 1$  cm sobre el centro de la placa. En la Lámina 8.302.20 B se detalla la forma y dimensiones de este dispositivo.

**2.5 Balanza.** Una balanza con capacidad mínima de 1 kg y sensibilidad de 0,01 g.

**2.6 Horno.** Con regulación de temperatura hasta  $150^{\circ}$  C y una precisión de  $\pm 1^{\circ}$  C. Debe disponer de bandejas horizontales para un mínimo de seis placas de ensayo.

**2.7 Tamices.** Tamices de: 4 mm (ASTM N° 5); 6,3 mm (ASTM  $\frac{1}{4}$ "); 10 mm (ASTM  $\frac{3}{8}$ "); 14 mm de luz de malla, usar tamices equivalentes en Chile.

**2.8 Cámara Húmeda.**

**2.9 Canastillos Metálicos.** Deben ser de tamaño adecuado y fabricados con malla de 3 mm.

### 3.- Procedimiento de Ensaye.

**3.1 Preparación de los Áridos.** Se seca en el horno, a 105 - 110° C, una cantidad representativa y suficiente de los áridos que se vayan a utilizar en la obra. Según su granulometría, se tamizan para obtener una o más de las siguientes fracciones de ensaye (dado que el ensaye debe realizarse con los áridos en el mismo estado de limpieza que tengan en la obra, hay que cuidar que todas estas manipulaciones no alteren sustancialmente este estado):

(Tamices) 4/6,3 mm; 6,3/10 mm y 10/14 mm.

- a) Áridos para vía seca. De cada fracción por ensayar elija grupos de 100 partículas de gravilla, que debe reservar en recipientes aparte hasta el ensaye.
- b) Áridos para vía húmeda. Elija igualmente grupos de 100 gravillas cada uno, con el fin de saturar los áridos sin alterar su estado inicial de limpieza: Coloque cada grupo en un cestillo de tela metálica y manténgalos en una cámara húmeda saturada durante mínimo 24 h, hasta el momento del ensaye.
- c) Ligantes. En general se puede utilizar cualquier ligante que sea apropiado para los tratamientos superficiales con riego, como es el cemento asfáltico, emulsiones y eventualmente otros materiales asfálticos. En la Tabla 8.302.20.A se indican los aportes de ligante en función del tamaño de la gravilla.

**TABLA 8.302.20.A**  
**CANTIDAD DE LIGANTE RESIDUAL (kg/m<sup>2</sup>)**

Tipo de Ligante	Gravilla o Tamaño (mm)		
	4 / 6	6 / 10	10 / 14
Cemento Asfáltico	1,0	1,1	1,3
Alquitranes	1,0	1,2	1,6
Asfaltos Líquidos	1,0	1,1	1,3
Asfaltos Fluxados	1,0	1,1	1,2
Emulsiones Asfálticas	0,8	1,0	1,2

### 3.2 Preparación de las Placas de Ensaye.

- a) Pesada del ligante. Para cada ensaye, prepare un mínimo de tres placas perfectamente planas, limpias y secas; pese directamente sobre cada una la cantidad correspondiente de ligante, según la Tabla 8.302.20.A.
- b) Ligantes viscosos. Cuando utilice ligantes que necesiten calentarse para su empleo, coloque la placa en posición horizontal en el horno a la temperatura adecuada, hasta que todo el ligante se haya extendido y cubra de manera uniforme la superficie total de la placa, ayudándose si fuera preciso con una varilla fina. Sobre el ligante caliente extienda en seguida las cien gravillas para el ensaye, de forma que queden uniformemente repartidas sobre toda la superficie. Seguidamente, coloque la placa sobre un suelo horizontal y dé tres pasadas con el rodillo de compactación en un sentido y otras tres en sentido perpendicular al anterior. Finalmente, deje la placa en reposo y en posición horizontal hasta que se enfríe.
- c) Ensayes por vía seca y por vía húmeda. El ensaye por vía seca se realiza con los áridos preparados según 3.1 a) y por vía húmeda con los áridos preparados según 3.1 b).
- d) Emulsiones. Cuando utilice como ligante una emulsión bituminosa, una vez pesada sobre la placa la cantidad adecuada, añada las cien gravillas, repartidas con el mismo criterio expuesto en 3.2 b), y deje en reposo la placa sobre una superficie horizontal hasta que, una vez quebrada la emulsión, el betún residual alcance la necesaria consistencia para poder realizar el ensaye.

Con las emulsiones bituminosas el tiempo de curado depende tanto del tipo y estabilidad de la emulsión como de la naturaleza de los áridos, influyendo, además, su limpieza y las condiciones de temperatura y humedad ambientales. Dado que el ensaye se ha de realizar cuando la emulsión está completamente quebrada y el betún residual haya alcanzado su consistencia final, el principal problema que se presenta cuando se emplean emulsiones es determinar con cierta exactitud el tiempo de curado,

teniendo en cuenta, además, que el quiebre de la emulsión comienza en la zona de contacto con los áridos y es más lenta en el resto de la placa. Una solución puede ser fabricar una serie de placas Vialit de prueba, las cuales se ensayan a tiempos crecientes hasta obtener dos resultados semejantes, realizando entonces el verdadero ensaye en el tiempo así definido. En general es preferible realizar el curado a temperatura ambiente, aunque éste puede acortarse con un calentamiento suave de la placa. Los ensayes a tiempos crecientes pueden servir igualmente para valorar la acción de un determinado acelerante.

Cuando se emplea una emulsión, el ensaye se realiza normalmente con los áridos secos, preparados según 3.1 a). Como método para valorar la adhesividad en estas condiciones se puede realizar, además, el ensaye sobre placas ya curadas y que se han estado sumergidas en agua 24 h a temperatura ambiente.

### 3.3 Realización del Ensaye.

- a) El ensaye se realiza normalmente a una temperatura ambiente no inferior a 10°C, dejando las placas en estas condiciones antes de ensayarlas durante un mínimo de media hora.
- b) Se nivela el dispositivo para ensaye y se coloca la placa en posición invertida, con los áridos hacia abajo, apoyada sobre las puntas de las tres varillas de soporte.
- c) El ensaye consiste en dejar caer la bola libremente, soltándola desde la canaleta inclinada hasta que golpea en el centro de la placa. La caída se repite tres veces en menos de 10 s (Nota 1).

## 4.- Resultados.

**4.1** Terminado el ensaye, recoja todas las gravillas desprendidas. A continuación observe la placa y arranque todas aquellas que puedan desprenderse con la mano; el conjunto de todas las gravillas así recogidas, desprendidas y arrancadas a mano, se divide en dos grupos:

- a: Número de gravillas no manchadas por el ligante.
- b: Número de gravillas manchadas por el ligante.

Se define la adhesividad en porcentaje como:

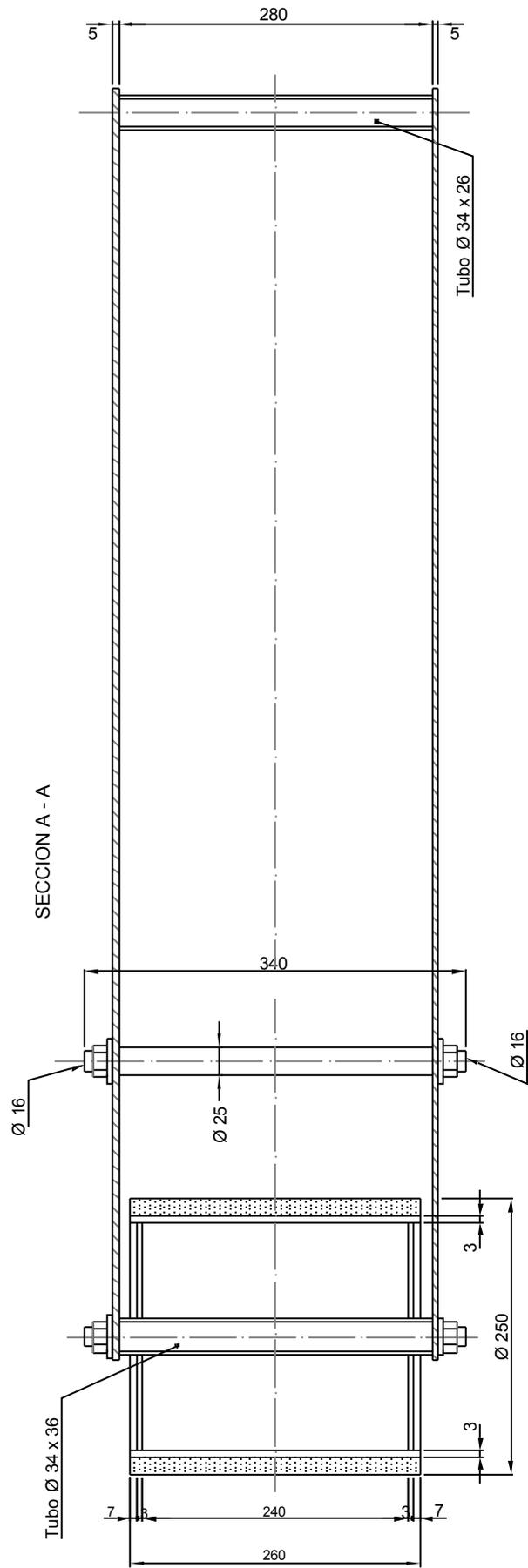
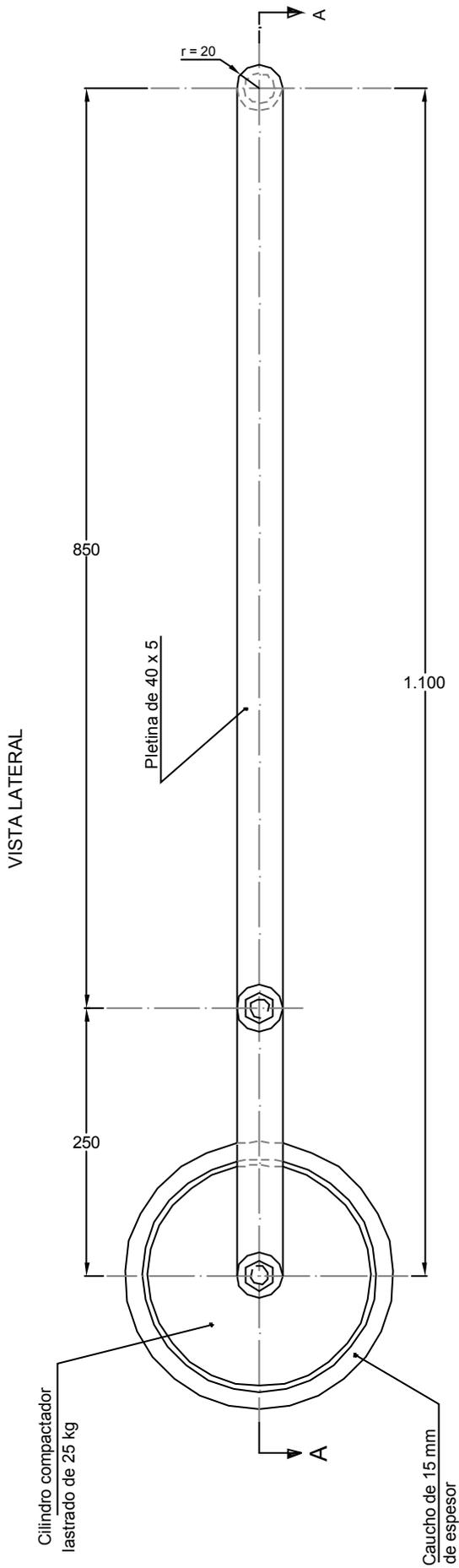
Adhesividad mediante placa Vialit =  $100 - a$

**4.2** Calcule y exprese como resultado del ensaye de Adhesividad con la placa Vialit, el valor medio obtenido de tres placas ensayadas en estas condiciones.

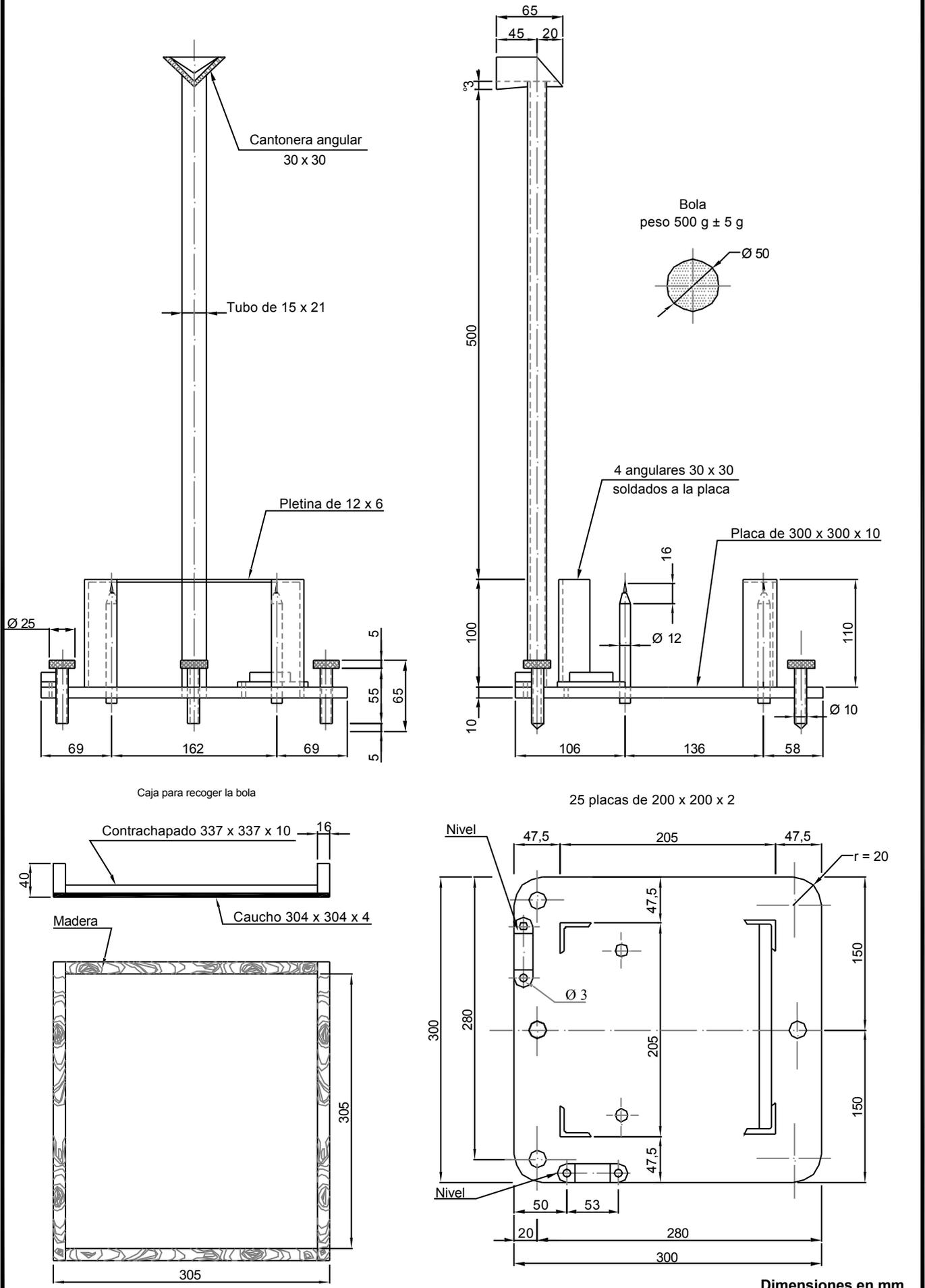
**5.- Informe.** El informe debe incluir los siguientes resultados.

- a) Resultado del ensaye obtenido en sección 4.
- b) Tipo y tamaño de gravilla.
- b) Tipo y proporción de ligante.
- c) Tipo y proporción de activante.
- d) Vía seca y/o húmeda.
- e) En el caso de emulsiones, además:
  - Condiciones de curado (tiempo, temperatura, etc.)
  - Condiciones de ensaye (placa seca, sumergida, etc.)

**Nota 1:** Para recoger la bola después de cada impacto, se coloca delante del dispositivo de caída una caja con fondo de goma o arena, según la Lámina 8.302.20.B. Si la placa tiene tendencia a saltar por el impacto, se la sujeta con cuñas apropiadas sobre el bastidor.



Dimensiones en milímetros.





## **8.302.21 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE PENETRACION EN ASFALTOS MODIFICADOS**

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método describe el procedimiento a seguir para la determinación del Índice de Penetración, IP, de los ligantes asfálticos modificados.

**1.2** Este índice se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola, y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

### **2.- Referencias.**

- NLT-181/88 : Índice de penetración de los betunes asfálticos.
- Asphalt Science and Technology, Edwin J. Barth, 1968.
- UNE 104-281-86 (1-5): materiales bituminosos y bituminosos modificados. Índice de penetración.
- Método 8.302.16 Asfalto: método para determinar el punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola.
- Método 8.302.3 Asfalto: método de ensaye de penetración.

### **3.- Determinación del Índice de Penetración.**

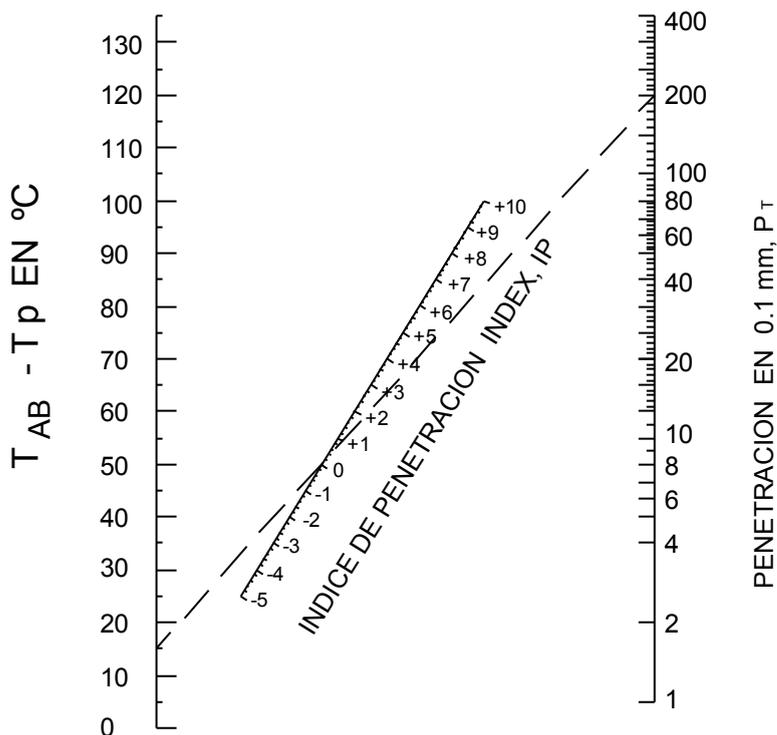
**3.1** El método de obtención del IP se basa; por una parte, en admitir que, a la temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola, la penetración de un ligante asfáltico es de 800 y; por otra, que si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración, los valores de ésta en función de la temperatura se representan por una línea recta.

**3.2** El IP se obtiene mediante el Nomograma de la Lámina 8.302.21.A, donde:

- IP : Índice de penetración, con aproximación a un decimal.
- $T_{AB}$  : Temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola ( °C).
- $T_P$  : Temperatura a la que se efectúa la penetración (°C).
- $P_T$  : Penetración a la temperatura  $T_P$ , en décimas de mm.

**3.3** Los asfaltos con  $IP > + 2$  presentan poca susceptibilidad a la temperatura y cierta elasticidad.

**4.- Informe.** El IP obtenido del Nomograma de la Lámina 8.302.21.A se expresa e informa con aproximación a un decimal.



Ejemplo de Uso:

Penetración a 25° C = 200

Temperatura del punto de ablandamiento (  $T_{AB}$  ) = 40° C

Ordenada izquierda = 40-25 = 15° C

Conectando estos puntos con una recta se obtiene un

Indice de Penetración,  $I_p = 0,0$ .

## 8.302.22 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE MEDICION DE PROPIEDADES REOLOGICAS MEDIANTE EL REOMETRO DE CORTE DINAMICO

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este Método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de ensaye de platos paralelos. Es aplicable a ligantes asfálticos con valores de módulo de corte dinámico de 100 Pa a 10 MPa. Este rango se obtiene típicamente entre 5 y 85° C. Este ensaye está pensado para determinar las propiedades lineales viscoelásticas de ligantes asfálticos, para requerimiento de especificación y no como un procedimiento para comprender la caracterización completa de las propiedades viscoelásticas del ligante.

**1.2** El ensaye es apropiado para material original o envejecido según Métodos 8.302.33 o 8.302.23.

**1.3** Este Método de ensaye no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones mayores que 250  $\mu\text{m}$ .

**1.4** El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. Aquí no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer apropiadas medidas de seguridad e higiene y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias previo al desarrollo del ensaye.

**1.5** El procedimiento está basado en AASHTO TP 5-98.

### 2.- Referencias.

- Método 8.301.8 Asfaltos: especificaciones Superpave.
- Método 8.302.23 Asfaltos: método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara de presión.
- Método 8.302.1 Asfaltos: métodos de muestreo.
- Método 8.302.33 Asfaltos: método de ensaye de película delgada rotatoria.
- Norma ASTM C670 Práctica para Preparación de Planteamientos de Precisión y Sesgo para Métodos de Ensayo de Materiales de Construcción.
- Norma ASTM E1 Especificación para Termómetros ASTM.
- Norma ASTM E220 método para Calibración de Termocuplas por Técnicas de Comparación.
- Norma DIN 43760 Estándar para Calibración de Termocuplas.
- Norma AASHTO: TPS-98 Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)
- AASHTO PP6 Graduación o verificación del grado de desempeño de un ligante asfáltico.

### 3.- Terminología.

**3.1 Ligante asfáltico.** Cemento asfáltico producido a partir de residuos de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.

**3.2 Módulo de Corte Complejo,  $G^*$ .** Razón calculada dividiendo el valor absoluto de la tensión de corte máximo,  $\tau$ , por el valor absoluto de la deformación de corte máxima,  $\gamma$ .

**3.3 Angulo de Fase.** El ángulo en radianes entre una deformación aplicada sinusoidalmente y la resultante de tensión sinusoidal en un ensaye tipo deformación controlada, o entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un ensaye tipo tensión controlada.

**3.4 Módulo de Pérdida de Corte,  $G''$ .** El módulo complejo de corte multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (disipada durante un ciclo de carga).

**3.5 Módulo de Almacenamiento de Corte,  $G'$ .** El módulo complejo de corte multiplicado por el coseno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo que es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga.

**3.6 Geometría de Platos Paralelos.** Se refiere a la geometría de ensaye, en la cual la muestra de ensaye es colocada entre dos platos paralelos relativamente rígidos y sometida a corte oscilatorio.

**3.7 Corte Oscilatorio.** Se refiere al tipo de carga en la cual una tensión de corte o deformación de corte es aplicada a la muestra de ensaye de una manera oscilatoria, de modo que la tensión o deformación de corte varíe en amplitud alrededor de cero de manera sinusoidal.

**3.8 Viscoelástico Lineal.** Dentro del contexto de esta especificación, se refiere a la región de comportamiento en la cual el módulo de corte dinámico es independiente de la tensión o deformación de corte.

**3.9 Asociación Molecular.** Se refiere a la asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. A menudo referida como endurecimiento estérico en la literatura técnica, las asociaciones moleculares pueden incrementar el módulo dinámico de corte de ligantes asfálticos. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse, incluso, después de pocas horas de almacenamiento.

#### 4.- Resumen del Método.

**4.1** El procedimiento se usa para medir el módulo complejo de corte ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ) de ligantes asfálticos, usando un reómetro de corte dinámico y geometría de ensaye de platos paralelos.

**4.2** El ensaye es aplicable a ligantes asfálticos cuyo módulo dinámico de corte esté comprendido entre 100 Pa y 10 MPa. Este es el rango típico que se obtiene entre 5 y 85° C, dependiendo del grado, temperatura de ensaye y acondicionamiento (envejecimiento) del ligante asfáltico.

**4.3** Las probetas se ensayan entre los platos metálicos paralelos y son de dimensiones de 1 mm de espesor por 25 mm de diámetro, o 2 mm de espesor por 8 mm de diámetro. Durante el ensaye, uno de los platos paralelos oscila con respecto al otro a frecuencia y amplitudes de deformación rotacional (o amplitudes de torque) preseleccionadas. La amplitud requerida depende del valor del módulo complejo de corte del asfalto ensayado. Las amplitudes requeridas han sido seleccionadas para asegurar que las medidas estén dentro de la región de comportamiento lineal.

**4.4** La probeta de asfalto se mantiene a la temperatura de ensaye dentro de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , por calentamiento y enfriamiento de los platos superior e inferior.

**4.5** Las frecuencias oscilatorias de carga que se usan en este ensaye pueden ir de 1 a 100 rad/s, usando una forma de onda sinusoidal. La especificación del ensaye está realizada para una frecuencia de ensaye de 10 rad/s. El módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ), se calculan automáticamente como parte de la operación del reómetro, mediante el software de computador suministrado por el fabricante del equipo.

#### 5.- Significado y Uso.

**5.1** La temperatura de ensaye utilizada en este procedimiento está relacionada con la temperatura a que estará sometido el pavimento en el área geográfica donde se usará el ligante asfáltico.

**5.2** El módulo complejo de corte es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo complejo de corte y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región lineal viscoelástica. Otras propiedades lineales viscoelásticas, tales como el módulo de almacenamiento ( $G'$ ), o el módulo de pérdida de la energía disipada durante cada ciclo de carga ( $G''$ ), se pueden calcular a partir del módulo complejo y el ángulo de fase. El módulo de pérdida ( $G''$ ) es una medida de la energía disipada durante cada ciclo de carga.

**5.3** El módulo complejo y el ángulo de fase se usan para determinar criterios relacionados con el desempeño, de acuerdo con el Método 8.301.8.

## **6.- Aparatos.**

**6.1 Sistema de Ensaye - Reómetro de Corte Dinámico.** El sistema de ensaye incluye los platos metálicos paralelos, una cámara ambiental, un dispositivo de carga y un sistema de control y registro de datos.

- a) Platos de ensaye. Platos metálicos de ensaye, de superficies pulidas suaves. Uno de  $8,00 \pm 0,05$  mm de diámetro y otro de  $25,00 \pm 0,05$  mm de diámetro. En algunos reómetros, el plato base es un plato plano. Se requiere un relieve de 2 a 5 mm de alto, del mismo diámetro del plato superior. La porción en relieve hace más fácil conformar la probeta y puede mejorar la repetibilidad del ensaye.
- b) Cámara ambiental. Una cámara para controlar la temperatura de la probeta de ensaye, mediante calentamiento o enfriamiento (en forma discreta), para mantener la probeta en un ambiente constante. El medio usado para el enfriamiento o calentamiento puede ser gas o líquido (Nota 1), de modo que no afecte las propiedades del ligante asfáltico. La temperatura en la cámara puede ser controlada por la circulación de un fluido o un gas acondicionado; (agua o nitrógeno son adecuados). Cuando se use aire se debe incluir un secador adecuado para prevenir la condensación de la humedad sobre los platos y fijaciones y, si se opera bajo el punto de congelación, prevenir la formación de hielo. La cámara ambiental y el controlador deben controlar la temperatura de la probeta, incluyendo gradientes térmicos dentro de la muestra, con una precisión de  $\pm 0,1^\circ$  C. La cámara incluirá completamente los platos superior e inferior para minimizar los gradientes térmicos.

**Nota 1:** Si se utiliza un medio fluido, se puede requerir una unidad de baño circulatorio separada del reómetro de corte dinámico, la que bombeará el fluido a través de la cámara.

- Controlador de Temperatura. Un controlador capaz de mantener la temperatura de las probetas dentro de  $0,1^\circ$  C, para temperaturas de ensaye en el rango de  $5^\circ$ C a  $85^\circ$ C.
- Sensor de Temperatura. Un sensor de resistencia térmica (RTD) montado dentro de la cámara ambiental, en contacto directo con el plato fijo, con un rango de temperatura de 5 a  $85^\circ$  C y con lectura y precisión de  $0,1^\circ$  C. Este sensor será usado para controlar la temperatura en la cámara y registrar lecturas continuas de temperatura durante el montaje, acondicionamiento y ensaye de la probeta.

**Nota 2:** Para este propósito se recomiendan sensores RTD de platino de acuerdo a Norma DIN 43760 (Clase A) o equivalente. El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

- Sensor Térmico de Referencia. Debe usarse un RTD o termocupla como se describe en 8.2.
- c) Dispositivo de Carga. El dispositivo de carga aplicará una carga oscilatoria sinusoidal a la probeta, a una frecuencia de  $10,0 \pm 0,1$  rad/s. Si se usan frecuencias diferentes a 10 rad/s, la precisión debe ser de un 1%. El dispositivo de carga será capaz de aplicar carga bajo modalidad de tensión controlada o deformación controlada. Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una precisión de 100 microradianes alrededor de la deformación especificada. Si la carga se aplica bajo modalidad de tensión controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 mN-m alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 N-m, será menor que 2 miliradianes/N-m.
  - d) Sistema de Control y Registro de Datos. Este sistema proveerá un registro de temperatura, frecuencia, ángulo de deflexión y torque. Los dispositivos usados para medir estas cantidades satisfacen los requerimientos de precisión de la Tabla 8.302.22.A. Además, el sistema calculará y registrará la tensión de corte, deformación de corte, módulo complejo de corte ( $G^*$ ) y ángulo de fase ( $\delta$ ). EL sistema medirá y registrará  $G^*$ , en el rango de 100 Pa a 10 MPa, con una precisión menor o igual a 0,5%, y el ángulo de fase en el rango de 0 a 90 grados, con una precisión de 0,1 grados.

**TABLA 8.302.22.A**  
**REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS**

Propiedad	Precisión
Temperatura	0,1 °C
Frecuencia	1 %
Torque	10 mN·m
Angulo de deflexión	100 µrad

**6.2 Molde de la Probeta (Opcional).** Un molde de goma de silicona para formar las probetas de ensaye, con un diámetro aproximadamente igual al diámetro del plato de ensaye superior y altura aproximadamente igual a 1,5 veces la separación entre platos.

**6.3 Espátula.** Una espátula especial para conformar los bordes de la probeta de asfalto, con un canto recto de al menos 4 mm de ancho.

**6.4 Sensor de Temperatura Calibrado.** Una termocupla calibrada, RTD, de espesor o diámetro  $\leq 2,0$  mm, es adecuada para la medición de la temperatura de una probeta o muestra de ligante asfáltico. Las termocuplas y sensores no son confiables al  $\pm 0,1^\circ$  C a menos que se calibren de acuerdo al estándar correspondiente al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), siendo calibrados como unidad integral, con sus medidores asociados o circuitos electrónicos. Típicamente los RTD de platino no son adecuados debido a que son demasiado grandes para ajustarse a la separación o distancia de separación entre los platos del reómetro.

**7.- Precauciones.** Se debe tener precaución al manipular el ligante asfáltico caliente cuando se preparan las probetas de ensaye.

#### **8.- Preparación de Aparatos.**

**8.1** Prepare los aparatos de ensaye según las recomendaciones del fabricante. Los requerimientos específicos varían para diferentes modelos y fabricantes de reómetros.

**8.2** Monte los platos de ensaye sobre las fijaciones de ensaye y ajústelos firmemente.

**8.3** Seleccione la temperatura de ensaye según el grado del ligante asfáltico o de acuerdo a la planificación preseleccionada de ensaye (Nota 3). Espere a que el reómetro alcance una temperatura estable alrededor de  $\pm 0,1^\circ$  C de la temperatura de ensaye.

**Nota 3:** El Método 8.301.8 y la práctica AASHTO PP6 son una guía para la selección de las temperaturas de ensaye.

**8.4** Con los platos a la temperatura de ensaye, o en el medio del rango de temperatura esperado, establezca el nivel inicial de separación, (1) girando manualmente el plato móvil para reducir la separación hasta que el plato móvil toque al plato fijo (la separación cero se logra cuando el plato deja de girar completamente) o, (2) para reómetros con transductores de fuerza normal, reduciendo la separación y observado la fuerza normal y, una vez establecido el contacto entre los platos, poner la separación en cero aproximadamente cuando la fuerza normal es cero.

**8.5** Separe los platos y establezca un ajuste de separación de 1 mm más 0,05 mm (para probetas de 25 mm de diámetro) o de 2 mm más 0,05 mm (para probetas de 8 mm de diámetro).

**Nota 4:** En el reómetro de corte, el marco, los sensores y las fijaciones, cambian de dimensión con la temperatura, causando que la separación cero cambie durante la operación del equipo. Los ajustes en la separación no se hacen necesariamente cuando las mediciones son hechas sobre un rango limitado de temperaturas. La separación debiera ajustarse a la temperatura de ensaye o, si los ensayes se realizan en un rango de temperatura, la separación debiera ajustarse en la temperatura media del

rango esperado. Para la mayoría de los instrumentos, el ajuste de la separación no es necesario mientras la temperatura de ensaye esté dentro de  $\pm 12^{\circ}\text{C}$  de la temperatura a la cual se ajustó la separación cero.

## 9.- Calibración y Estandarización.

9.1 Realice los siguientes procedimientos de calibración y verificación a lo menos cada seis meses.

9.2 **Temperatura.** Prepare una probeta de prueba de ligante asfáltico o use un sello de silicona siguiendo los procedimientos estándar. Use la probeta sólo para mediciones de verificación de temperatura. Las mediciones de corte dinámico no son válidas si un detector de temperatura se inserta dentro del ligante. Verifique la temperatura de la probeta indicada por el RTD del reómetro en la prueba, usando un detector de temperatura inserto dentro de la probeta de prueba o del sello de silicona.

- a) Compare las mediciones de temperatura obtenidas desde la probeta de prueba por el RTD del reómetro. Usando la temperatura medida dentro de la probeta de prueba como temperatura de referencia, aplique una corrección apropiada a la medición de temperatura indicada por el RTD del reómetro, si es que ambas mediciones no están dentro de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .
- b) Los gradientes térmicos dentro del reómetro y la dificultad de calibración del RTD mientras está montado en el reómetro (Nota 5), hacen necesaria una medición directa de la temperatura entre los platos, usando una probeta de prueba y un sensor térmico de referencia. Esto se lleva a cabo colocando la probeta de prueba entre los platos y leyendo la temperatura en la probeta con un sensor térmico de referencia. Como sensor térmico de referencia, se usará un RTD o termocupla como se describe más abajo en este mismo punto. Ajuste la temperatura en la cámara a la mínima temperatura que será empleada en los ensayos y espere a que la cámara llegue al equilibrio térmico. Lea el instrumento RTD y la temperatura de la probeta de prueba. Suba la temperatura en incrementos de no más de  $6^{\circ}\text{C}$  y repita las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de ensaye. Usando los resultados medidos, obtenga la variación de temperatura entre el instrumento RTD y el sensor térmico de referencia inserto entre los platos. Esta variación no será una constante, sino que variará con la temperatura de ensaye. Compense el controlador térmico sobre el reómetro, de modo que se obtenga la temperatura esperada de ensaye entre los platos.

**Nota 5:** El RTD puede ser calibrado por un proveedor comercial. La verificación de la calibración puede ser obtenida comparando la salida desde el RTD con un termómetro de mercurio calibrado según ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el sensor térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado (ASTM 90C para  $0$  a  $30^{\circ}\text{C}$ , o ASTM 91C para  $20$  a  $50^{\circ}\text{C}$ ) y coloque el sensor térmico y el termómetro en el baño de agua con agitador. Fije el detector al termómetro con una banda o anillo de goma. Espere a que el baño, el sensor y el termómetro lleguen a la temperatura de equilibrio y registre la temperatura del termómetro y la lectura del sensor. La temperatura en el baño deberá ser constante dentro de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

- i Inserte un sello de silicona de 2 mm de espesor por 25 mm de diámetro entre las placas como probeta de prueba, que contenga un RTD calibrado aproximado a  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Use un revestimiento delgado de jalea de petróleo para asegurar el buen contacto térmico.
- ii Monte un RTD con forma de sello entre los platos y úselo como se describe en 8.2 a). El RTD debe ser calibrado como se describe en la Nota 5, aproximando a  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Este RTD no es impermeable y debe ser sumergido en asfalto caliente previo a su calibración. Para obtener medidas, el RTD es montado en el reómetro dentro de la muestra de ligante asfáltico. Después de montar la muestra y recortar el exceso de ligante, proceda con las mediciones de temperatura como se describe en 8.2.a).
- iii Use una termocupla de prueba para medir la temperatura de la muestra, insertándola dentro de una muestra montada en el reómetro como se describe en 9. La termocupla debe ser calibrada cada 3 meses usando el procedimiento descrito en la Nota 5, aproximando al  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Cuando se obtenga la temperatura de la muestra, el cableado y la instrumentación deben permanecer sin cambios desde que se usaron en la calibración. Para realizar una lectura de temperatura de la muestra, inserte la termocupla en el ligante asfáltico entre los platos y proceda como describe en 8.2 a) .

9.3 Calibre el transductor de carga según las instrucciones y accesorios provistos con el aparato.

9.4 Calibre el transductor de deformación según las instrucciones y accesorios provistos con el aparato.

**9.5** Verifique la calibración general del reómetro usando fluidos adecuados de referencia, con propiedades viscoelásticas similares al ligante asfáltico. No intente verificar la carga individual o los sensores de flexión con un fluido de referencia. No se han identificado patrones adecuados.

**Nota 6:** Para propósitos de verificación, se pueden usar fluidos de referencia que exhiban módulos y ángulos de fase dentro del rango de medición. Debido a que los fluidos de referencia no tienen la misma dependencia de la temperatura que los ligantes asfálticos, la interpretación de resultados obtenidos a partir de tales fluidos debe ser realizada con precaución.

## **10.- Preparación de Muestras y Probetas de Ensaye.**

**10.1 Preparación de Muestras de Ensaye.** Si se va a ensayar un ligante original, obtenga las muestras de ensaye de acuerdo con el Método 8.302.1 "Método de Muestreo".

a) Caliente el ligante asfáltico del cual se obtendrá la probeta, calentándolo hasta que esté suficientemente fluido para vaciar las probetas. Este calentamiento previo elimina las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente. No exceda una temperatura de 163°C. Cubra la muestra y agite ocasionalmente durante el proceso de calentamiento para asegurar la homogeneidad y remover las burbujas de aire. Minimice la temperatura y tiempo de calentamiento, para evitar el endurecimiento de la muestra

**Nota 7:** Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 135°C, sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135°C.

b) El material frío proveniente de los contenedores de almacenamiento debe ser calentado previo a su uso. La estructura desarrollada durante el almacenamiento puede resultar en una sobreestimación de los módulos hasta en 50%.

**10.2 Preparación de Probetas de Ensaye.** Ponga en cero la separación como se describe en 7. Cuidadosamente limpie y seque las superficies de los platos de ensaye, para que la probeta se adhiera a ambos platos uniforme y fuertemente. Lleve la cámara a aproximadamente 45°C cuando use las probetas de 8 mm. Lleve la cámara a la temperatura de ensaye o comienzo del rango (ver Nota 4) cuando use las probetas de 25 mm. Esto es para precalentar los platos y así permitir la adhesión de la probeta a éstos. Prepare una probeta de ensaye usando uno de los métodos especificados en 9.2 a) ó 9.2 b).

a) Remueva el plato móvil y mientras sostiene el contenedor de muestras aproximadamente 15 mm sobre la superficie del plato de ensaye, vierta el ligante asfáltico en el centro del plato superior continuamente hasta que cubra el plato entero, excepto aproximadamente una franja de 2 mm de ancho en el perímetro (Nota 8). Espere varios minutos para que la probeta se enfríe y adquiera rigidez; entonces monte el plato móvil en el reómetro.

**Nota 8:** Se puede usar un gotario o una jeringa, para transferir el asfalto caliente al plato.

b) Vierta el ligante asfáltico caliente dentro del molde de goma de silicona, lo que formará una píldora de diámetro aproximadamente igual al diámetro del plato superior y altura aproximadamente igual a 1,5 veces el ancho de la separación de ensaye. Permita al molde de goma de silicona enfriarse a temperatura ambiente. Remueva la probeta del molde y centre la píldora sobre el plato inferior del reómetro.

**Nota 9:** El molde lleno puede ser enfriado en un congelador para facilitar el desmolde de ligantes asfálticos de grados blandos. Enfríe el molde en el congelador sólo el tiempo mínimo necesario para facilitar el desmolde de la probeta.

**10.3 Conformado de la Probeta de Ensaye.** Después que la probeta ha sido colocada sobre uno de los platos de ensaye como se describe arriba, acerque los platos de carga para comprimir la masa de ligante

entre los dos platos. Mueva los platos juntos hasta que la separación entre ambos iguale la distancia de separación de la probeta de ensaye en  $\pm 0,05$  mm.

- a) Retire el exceso de asfalto del borde de la probeta moviendo la espátula adecuada en caliente alrededor del perímetro de los platos superior e inferior. La herramienta puede ser calentada sobre una plancha caliente o en una llama.

**Nota 10:** El módulo calculado es proporcional a la cuarta potencia del radio de la probeta. Enrase cuidadosamente para asegurar que las medidas sean confiables.

- b) Cuando se ha conformado la probeta, disminuya la separación de los platos en 0,05 mm hasta la separación deseada de ensaye. Esto causará una suave salida del ligante asfáltico en la periferia de la probeta de ensaye.

## 11.- Procedimiento de Ensaye.

11.1 Lleve la probeta a la temperatura de ensaye  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Véase la Nota 3.

**Nota 11:** La separación debiera ajustarse al inicio de la temperatura de ensaye (ver 10.1a) o al medio del rango de temperatura de ensaye esperada (ver 10.1b). Vea la Nota 4 para guiarse en el ajuste de la separación. Típicamente se obtienen resultados de ensaye confiables con una sola muestra, en un plato de 8 a 25 mm, usando temperaturas alrededor de  $12^{\circ}\text{C}$  de la temperatura a la cual se ajustó la separación.

- a) Cuando ensaye un ligante de acuerdo al Método 8.301.8, seleccione la temperatura de ensaye apropiada de acuerdo a especificación "Superpave para Ligantes Asfálticos"..
- b) Cuando realice un barrido de temperaturas, inicie el ensaye al medio del rango y aumente o disminuya la temperatura de ensaye hasta cubrir el rango deseado de temperaturas.

11.2 Ajuste el controlador de temperatura a la temperatura deseada de ensaye, incluyendo cualquier compensación requerida como en 8.1 a). Permita que la temperatura indicada en el RTD llegue a la temperatura deseada. El ensaye se iniciará sólo después que la lectura ha permanecido a la temperatura deseada  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , por al menos 10 min.

**Nota 12:** Es imposible especificar un sólo tiempo de equilibrio que sea válido para los reómetros producidos por distintos fabricantes. El diseño (baño de fluido u horno de aire) del sistema de control ambiental y la temperatura de inicio determinarán el tiempo requerido para alcanzar la temperatura seleccionada.

11.3 Modo de control de deformación. Cuando se opere en un modo de control de deformación, determine el valor de deformación de acuerdo a los valores del módulo complejo. Controle la deformación dentro del 20 % del valor dado por la ecuación 1.

$$\gamma (\%) = 12,0 / (G^*)^{0,29} \quad (1)$$

donde:

- $\gamma$  : Deformación de corte (%).  
 $G^*$  : Módulo complejo (kPa).

Cuando ensaye probetas para verificar el cumplimiento del Método 8.301.8, seleccione el valor de deformación de la Tabla 8.302.22.B. El software disponible con el reómetro, controlará la deformación automáticamente, sin necesidad de manipulación por parte del operador.

**TABLA 8.302.22.B  
VALORES DE DEFORMACION**

Material	kPa	Deformación, %	
		Nivel	Rango
Ligante Original	1,0 G*/sen δ	12	9 a 15
Residuo horno rotatorio (RTOFT) 8.302.33	2,2 G*/sen δ	10	8 a 12
Residuo cámara de presión (PAV) 8.302.23	5.000 G* sen δ	1	0,8 a 1,2

**11.4** Modo de Control de Tensión. Cuando opere en modo de control de tensión, determine el nivel de tensión de acuerdo al valor del módulo complejo. Controle la tensión dentro del 20% del valor calculado por la ecuación 2.

$$\tau = 0,12 (G^*)^{0,71} \quad (2)$$

donde:

τ : Tensión de corte ( kPa)  
G\* : Módulo complejo (kPa)

Quando ensaye probetas para verificar el cumplimiento del Método 8.301.8, seleccione los valores apropiados de tensión de la Tabla 8.302.22.C. El software disponible con el reómetro, controlará el nivel de tensión automáticamente, sin necesidad de manipulación por parte del operador.

**TABLA 8.302.22.C  
NIVELES OBJETIVOS DE TENSION**

Material	kPa	Tensión, kPa	
		Nivel	Rango
Ligante Original	1,0 G*/sen δ	0,12	0,09 a 0,15
Residuo horno rotatorio (RTOFT) 8.302.33	2,2 G*/sen δ	0,22	0,18 a 0,26
Residuo cámara de presión (PAV) 8.302.23	5.000 G* sen δ	50	40 a 60

**11.5** Cuando la temperatura se ha equilibrado, acondicione la muestra aplicando la tensión requerida por 10 ciclos a una frecuencia de 10 rad/s (Nota 13). Obtenga las mediciones de ensaye registrando datos de 10 ciclos adicionales. Reduzca los datos obtenidos para la segunda serie de 10 ciclos y así producir un valor del módulo complejo y ángulo de fase. Para reducir los datos se usa típicamente una transformada rápida de Fourier. Se pueden obtener múltiples mediciones para verificar que la muestra está apropiadamente preparada. La separación entre el ligante y los platos, o la fractura en la muestra, pueden provocar disminuciones en los módulos en mediciones repetidas. Algunos ligantes pueden exhibir un módulo reducido con aplicación continua de tensiones de corte (múltiples mediciones). El sistema de registro de datos automáticamente obtiene y reduce los datos cuando está apropiadamente activado. Cuando se realicen ensayos a más de una frecuencia, inicie el ensaye a la frecuencia más baja e incremente hasta la frecuencia mayor.

**Nota 13:** La frecuencia patrón de 10 rad/s se usa cuando se ensayan ligantes según Método 8.301.8.

**11.6** El sistema de adquisición de datos especificado en 6.1d) automáticamente calcula G\* y δ a partir de la información registrada, cuando está apropiadamente activado.

**11.7** Inicie el ensaye inmediatamente después de preparar y conformar la probeta. El ensaye a temperaturas subsecuentes deberá ser hecho tan rápidamente como sea posible para minimizar el efecto

de las asociaciones moleculares (endurecimiento estérico) que pueden causar un incremento en los módulos si la probeta permanece en el reómetro por un período prolongado. Cuando ensaye a múltiples temperaturas todos los ensayos deben ser realizados dentro de 4 h.

## 12.- Interpretación de Resultados.

**12.1** El módulo dinámico y el ángulo de fase dependen de la magnitud de la deformación de corte; el módulo y el ángulo de fase para cementos asfálticos modificados y no modificados disminuye al aumentar la deformación de corte, como muestra la Lámina 8.302.22.A. Un gráfico como el mostrado en la Lámina 8.302.22.A se puede generar aumentando gradualmente la amplitud de carga o deformación, con lo cual produce un barrido de deformación. No es necesario generar tales barridos durante ensayos normales, sin embargo, tales gráficos son útiles para verificar los límites de la región lineal.

**12.2** Una región lineal puede ser definida en base a pequeñas deformaciones, donde el módulo es relativamente independiente de la deformación de corte. Esta región variará según la magnitud del módulo complejo. La región lineal es definida como el rango en deformación donde el módulo complejo es 95% o más del valor para deformación cero.

**12.3** La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensaye.

## 13.- Informe.

**13.1** Entregue la identificación y descripción completa del material ensayado, incluyendo nombre, código, fuente y tipo de contenedor de la muestra.

**13.2** Describa el instrumento usado para el ensaye, incluyendo marca y modelo y, si se realizó en un reómetro a deformación o tensión constante, tipo de cámara ambiental y cualquier otra información necesaria para describir el reómetro.

**13.3** Los niveles de deformación y tensión especificados en las Tablas 8.302.22.B y 8.302.22.C han sido seleccionados para asegurar un punto de referencia común, que ha mostrado estar dentro de la región lineal para ligantes asfálticos originales y modificados. Algunos sistemas pueden no ser lineales en esta región. Cuando esta situación se observe, informe el módulo a los niveles de tensión o deformación recomendados, pero informe que las condiciones de ensaye resultaron fuera de la región lineal.

**13.4** Para cada ensaye informe lo siguiente:

- a) Diámetro del plato de ensaye, aproximado a 0,1 mm y separación de ensaye, aproximados a 1 $\mu$ m.
- b) Temperatura de ensaye, aproximada a 0,1° C.
- c) Frecuencia de ensaye, aproximada a 0,1 rad/s.
- d) Amplitud de deformación, aproximada a 0,01 %, o el torque, aproximado al mN·m.
- e) El módulo complejo  $G^*$  para las 10 mediciones, en kPa con tres cifras significativas.
- f) El ángulo de fase  $\delta$  para los segundos 10 ciclos, aproximado a 0,1 grados.

## 14.- Precisión y Sesgo.

**14.1 Precisión.** Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de corte dinámico obtenidos por este método, están dados en la Tabla 8.302.22.D. Los valores en la columna 2 de la Tabla 8.302.22.D son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones de ensaye descritas en la columna 1.

- a) **Repetibilidad.** Precisión para un mismo operador. Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a

menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la Tabla 8.302.22.D, columna 3.

- b) Reproducibilidad.** Precisión multilaboratoria. Dos resultados emitidos por dos diferentes operadores, ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la Tabla 8.302.22.D, columna 3.

**14.2 Sesgo.** Aún no existen referencias aceptables que permitan determinar el sesgo.

**TABLA 8.302.22.D  
PRECISIONES ESTIMADAS**

Condición	Coefficiente de Variación (1s%) <sup>1</sup>	Rango aceptable de dos resultados de ensaye (d2s%) <sup>1</sup>
Precisión mismo operador:		
Ligante original: G*/senδ (kPa)	3,4	9,5
Residuo RTOFT: G*/senδ (kPa)	3,9	11,0
Residuo PAV: G* senδ (kPa)	7,9	22,4
Precisión multilaboratorio:		
Ligante original: G*/senδ (kPa)	10,3	29,1
Residuo RTOFT: G*/senδ (kPa)	11,1	31,3
Residuo PAV: G*senδ (kPa)	19,8	56,1

<sup>(1)</sup> Estos valores representan el 1s% y el 2s% descritos en Práctica ASTM C670

**ANEXO A1  
LINEALIDAD DE ENSAYE DE LIGANTES ASFALTICOS  
(Información obligatoria)**

**A1.1 Alcance.** Este procedimiento permite determinar la linealidad de ligantes asfálticos originales (no envejecidos). La linealidad de ligantes asfálticos está determinada para la respectiva temperatura más alta del grado de desempeño del ligante asfáltico.

**A1.2 Procedimiento.**

A1.2.1 Prepare muestras de acuerdo según lo descrito en 10 del presente Método. Revisar.

**A1.2.2** Programe el reómetro de corte dinámico para realizar un barrido de tensión o deformación.

- a) Para reómetros controlados por deformación, ajuste la deformación inicial al 2 % y la deformación final al 30 %, con un incremento de deformación de 2%. Ajuste la frecuencia a 10 rad/s.
- b) Para reómetros controlados por tensión, ajuste la frecuencia a 10 rad/s y calcule las tensiones inicial y final como sigue:

$$\text{Tensión inicial, (kPa)} = (12 \% \text{ de tensión})/6$$

donde: 12 % de tensión = 0,12G\*

$$\text{Tensión final (kPa)} = \text{Tensión inicial} \times 15$$

**Nota A1.1:** G\* puede ser obtenido a partir de datos de clasificación de acuerdo a este Método.

**Nota A1.2:** Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con G\* = 1,290 al 12% de deformación.

12 % de tensión =  $1,290 * 0,12 = 0,1548$  kPa

Tensión de inicio =  $0,1548/6 = 0,0258$  kPa

Tensión final =  $0,0258 * 15 = 0,387$  kPa

**A1.2.3** Siga los pasos de acuerdo con 10 “Procedimiento de Ensaye” del presente Método, con la modificación mostrada en la sección A1.2.2 para realizar el ensaye de barrido por tensión o deformación.

**A1.2.4** Después de alcanzado el equilibrio térmico, condicione la muestra por 10 ciclos. Inicie la toma de mediciones para los próximos 10 ciclos. El ensaye se repite para cada nivel de tensión / deformación.

**A1.3** Informe lo siguiente:

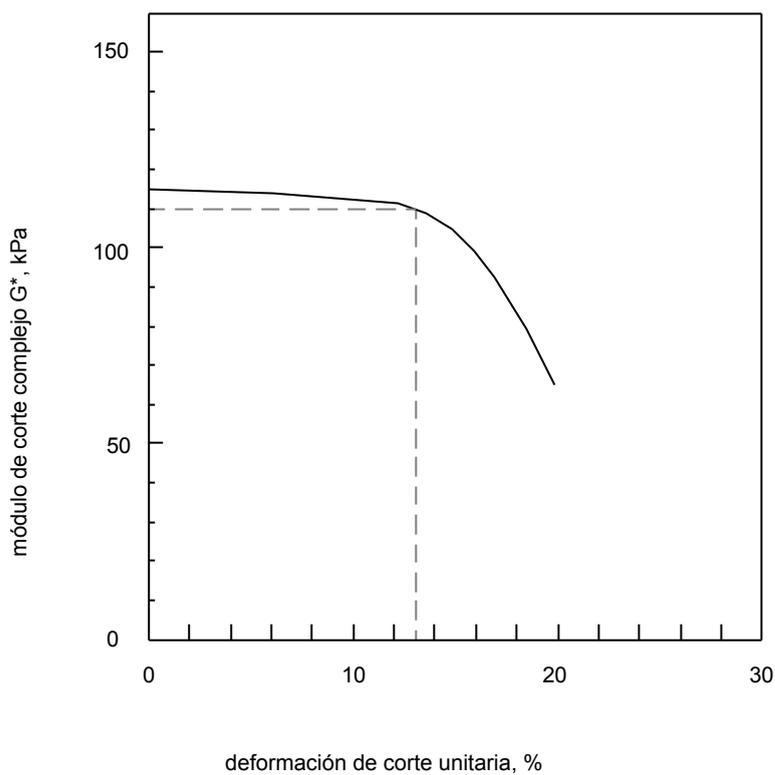
- a) Módulo de corte complejo ( $G^*$ ) con tres cifras significativas.
- b) Deformación, aproximada al 0,1%.
- c) Frecuencia, aproximada a 0,1 rad/s.

**A1.4** Interpretación de datos.

**A1.4.1** Calcule  $0,9 G^*$  al nivel de deformación mínimo de 2%.

**A1.4.2** Determine  $G^*$  al 12 % de deformación.

**A1.4.3** Considere el material lineal si  $G^*$  (al 12 % de deformación)  $\geq 0,9 G^*$  (al 2% deformación). Si no, el material se considera no lineal y los resultados obtenidos bajo el presente Método no serán aplicables a la especificación de ligante de la Especificación 8.301.8.



Ejemplo de un ensaye de barrido de deformación usado para definir el límite viscoelástico lineal para el ensaye mecánico dinámico del asfalto

### **8.302.23 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFALTICOS EN CAMARA A PRESION (PAV)**

#### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este Método cubre el envejecimiento (oxidación) acelerado de ligantes asfálticos, mediante aire presurizado y temperaturas elevadas. El Método de ensaye pretende simular el envejecimiento por oxidación de ligantes asfálticos en servicio. Está prescrito para residuos provenientes del ensaye de película delgada rotatoria, Método 8.302.33.

**1.2** Este Método está diseñado para simular el envejecimiento por oxidación, que ocurre en ligantes asfálticos durante la vida de servicio del pavimento. El residuo proveniente de este ensaye puede ser usado para estimar las propiedades físicas o químicas de ligantes asfálticos después de cinco a diez años de envejecimiento en el pavimento.

**1.3** El ligante asfáltico es envejecido con el Método 8.302.33 Película Delgada Rotatoria, previo al envejecimiento acelerado descrito en este Método. Muestras de ligante asfáltico originales, así como residuos de horno de película delgada rotatoria y el residuo del presente ensaye, se usan para determinar propiedades de desempeño del asfalto, de acuerdo con el Tópico 8.301.8.

**1.4** El envejecimiento de ligantes asfálticos durante el servicio es afectado por un conjunto de variables asociadas, tales como las proporciones volumétricas de la mezcla, la permeabilidad de la mezcla, propiedades de los agregados y posiblemente otros factores. Este ensaye permite evaluar la resistencia relativa, de distintos ligantes asfálticos, al envejecimiento por oxidación para temperaturas seleccionadas y no considera el conjunto de todas las variables descritas.

**1.5** Para ligantes asfálticos de diferentes grados o provenientes de distintas fuentes, no existe una correlación única entre el tiempo de envejecimiento y la temperatura utilizados en el ensaye, con la edad y temperatura del pavimento en servicio. Por lo tanto, para un conjunto de condiciones climáticas de servicio, no es posible seleccionar una sola temperatura y tiempo de envejecimiento en la cámara presurizada, que prediga las propiedades de todos los ligantes asfálticos para un conjunto específico de condiciones de exposición en servicio.

**1.6** El grado de endurecimiento relativo de diferentes ligantes asfálticos varía para diferentes temperaturas de envejecimiento en la cámara presurizada. Por lo tanto, dos ligantes asfálticos pueden envejecer similarmente a una cierta temperatura, pero hacerlo de manera distinta a otra temperatura.

**1.7** Este Método puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. El Método no indica todas las medidas de seguridad asociadas con el ensaye. Es responsabilidad del usuario establecer procedimientos y las medidas de seguridad e higiene apropiadas.

#### **2.- Referencias.**

- Tópico 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave para Ligantes Asfálticos
- Método 8.302.33 Asfaltos: Método de Ensaye de Película Delgada Rotatoria
- AASHTO M231 *Standard Specification for Weighing Devices Used in the Testing of Materials* (especificación para balanzas usadas en ensaye de materiales)
- DIN 43760 Estandarización para calibración de termocuplas
- ASTM E220 *Standard Test Method for Calibration of Thermocouples By Comparison Techniques* (método de calibración de termocuplas por técnicas de comparación)
- AASHTO R 28-09 *Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)*

### 3.- Terminología.

**3.1 Ligante asfáltico.** Cemento de base asfáltica producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.

**3.2 En Servicio.** Hace referencia al envejecimiento del ligante asfáltico que ocurre en el pavimento, como resultado de los efectos combinados del tiempo, el tránsito y el medio ambiente.

**4.- Resumen del Método de Ensaye.** Primeramente, el ligante asfáltico se envejece en un horno de película delgada rotatoria, de acuerdo con el Método 8.302.33. Un espesor especificado de residuo, proveniente del ensaye mencionado, se coloca en bandejas de acero inoxidable (véase el punto 5.2) y se envejece a la temperatura de envejecimiento especificada, durante 20 h en una cámara presurizada con aire a 2,10 MPa. La temperatura de envejecimiento se selecciona según el grado del ligante asfáltico. Una vez completado el procedimiento, el residuo de ligante asfáltico es desgasificado por medio de vacío.

### 5.- Materiales y Equipos.

**5.1 Sistema de Ensaye.** Consiste en una cámara de presión, dispositivos controladores de presión, dispositivos controladores de temperatura, dispositivos de medición de presión y temperatura, y un dispositivo de registro de temperatura (véase Lámina 8.302.23.A).

a) Cámara de Presión. Una cámara de presión de acero inoxidable, diseñada para operar a  $2,1 \pm 0,1$  MPa, entre 90°C y 110°C, con dimensiones interiores adecuadas para alojar una repisa con 10 bandejas estándares de acero inoxidable. La cámara de presión alojará la repisa con las bandejas en posición horizontal, de modo que el espesor de una delgada capa de ligante ubicada en el fondo de cada bandeja no varíe más de 0,5 mm a través de cualquier diámetro del recipiente. El bastidor será diseñado para una fácil inserción en y remoción desde la cámara, cuando todos los elementos y el ligante estén a la temperatura de ensaye. En la Lámina 8.302.23.B se muestra un esquema de la cámara, el bastidor con las bandejas, y los requerimientos dimensionales específicos.

**Nota 1:** La cámara puede ser una unidad independiente, para ser colocada en un horno de tiro forzado para el acondicionamiento del ligante asfáltico, o parte integrante del sistema de control de temperatura (por ejemplo, por calentamiento directo de la cámara o por un sistema envolvente con una unidad de calentamiento adjunta, horno de tiro forzado o baño líquido).

b) Dispositivos Controladores de Presión.

- i Una válvula de seguridad que evite presiones superiores a 2,2 MPa en la cámara durante el proceso de envejecimiento.
- ii Un regulador de presión, capaz de controlar la presión dentro de la cámara, con una precisión de  $\pm 1\%$ , y con una capacidad adecuada para reducir la presión proveniente de la fuente de aire comprimido, tal que la presión dentro de la cámara cargada se mantenga en  $2,1 \pm 0,1$  MPa durante el ensaye.
- iii Una válvula de desangrado, de liberación lenta, que reduzca la presión en la cámara, una vez terminado el ensaye, a velocidad constante, desde 2,1 MPa hasta la presión atmosférica local, en un lapso de  $9 \pm 1$  min.

c) Dispositivos Controladores de Temperatura. Uno de los dispositivos de control de temperatura descritos en **d)**, para mantener la temperatura durante el proceso de envejecimiento en todos los puntos dentro de la cámara presurizada, con una precisión de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , y un controlador digital proporcional para mantener la temperatura especificada de control.

- i Un horno de tiro forzado o baño líquido (Nota 1) capaz de llevar la cámara cargada despresurizada a la temperatura de envejecimiento deseada  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , en un lapso de no más de 2 h, de acuerdo al registro del sensor térmico de resistencia (RTD) dentro de la cámara (Nota 2). Mantener la temperatura de envejecimiento  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  en todos los puntos del interior de la cámara. Las dimensiones interiores del horno deben ser lo suficientemente amplias para

permitir la libre circulación del aire forzado dentro del él y alrededor de la cámara, cuando ésta se encuentre dentro del horno. El horno tendrá un soporte que sostenga la cámara cargada en una posición elevada sobre la superficie inferior del horno (además debe mantener el espesor de la película de ligante en las bandejas dentro de la tolerancia especificada).

- ii Una cámara de presión con un sistema integral de control de temperatura, que sea capaz de llevar la cámara de presión cargada presurizada (Nota 1) a la temperatura de condicionamiento deseada  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  dentro de 2 h, de acuerdo al registro del RTD dentro de la cámara de presión cargada, y mantener la temperatura en todos los puntos dentro de la cámara a presión a la temperatura de envejecimiento  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . (Nota 2)

**d) Dispositivos de Medición de Temperatura y Presión:**

- i Un RTD de platino con precisión de  $0,1^{\circ}\text{C}$  y que satisfaga el estándar DIN 43760 (Clase A) o equivalente, para medir la temperatura dentro de la cámara de presión. EL RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

**Nota 2:** El RTD o detector térmico y su medidor pueden ser calibrados por el fabricante o por el proveedor comercial. La verificación del RTD se puede realizar de acuerdo con ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el detector térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de vidrio de inmersión parcial con un rango apropiado y coloque el detector térmico y el termómetro en el baño de agua. Fije el detector al termómetro de vidrio con una banda de goma o una liga. Permita que se alcance el equilibrio térmico entre el baño, el detector y el termómetro, y luego registre la temperatura del termómetro de vidrio y la lectura exterior proveniente del detector térmico. La temperatura en el baño no debe cambiar más de  $0,1^{\circ}\text{C}$  por minuto durante el proceso de calibración.

- ii Dispositivo de Registro de Temperatura. Una registradora de cinta u otro tipo de sistema de adquisición de datos capaz de registrar temperaturas durante el ensaye con exactitud de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Como alternativa, se puede usar un dispositivo electrónico capaz de registrar temperaturas máximas y mínimas (precisión  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ).
- iii Un manómetro capaz de medir la presión dentro de la cámara con una precisión de  $\pm 1\%$  durante el ensaye.

**5.2 Bandejas de Acero Inoxidable.** Diez bandejas cilíndricas de acero inoxidable de 140 mm de diámetro interior, 9,5 mm de profundidad, con el fondo plano y en lo posible, de 0,6 mm de espesor (mínimo 0,4 mm).

**Nota 3:** Las bandejas tienen tendencia a deformarse o doblarse con el uso. Las bandejas confeccionadas con una hoja N°24 de acero inoxidable cumplen con el espesor recomendado. Las bandejas de hoja N°26 de un metal inoxidable también son aceptables, pero tienen una mayor tendencia a doblarse durante su uso. Sin embargo, en ningún caso los espesores del metal serán menores que 0,4 mm.

**5.3 Balanza.** Una balanza conforme a los requerimientos de AASHTO M231, Clase G2.

**5.4 Horno de Vacío.** Un horno de vacío capaz de mantener una temperatura sobre los  $180^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\pm 5,0^{\circ}\text{C}$  y un vacío de 1,0 kPa absoluto.

**5.5 Sistema de Vacío.** Un sistema de vacío capaz de generar y mantener presiones bajo 15 kPa absolutos. Un sistema de vacío adecuado incluye una bomba de vacío, aspirador de aire o un sistema casero de vacío.

**5.6 Materiales.** Aire comprimido comercial o equivalente.

## 6.- Calibración y Estandarización.

**6.1 Detector de Temperatura.** Verifique la calibración del RTD a  $0,1^{\circ}\text{C}$  al menos cada 6 meses, usando un termómetro calibrado.

**6.2 Medidor de Presión.** Calíbrelo para una precisión de 1% al menos cada 6 meses.

**Nota 4:** Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado.

**6.3** Efectúe varias pruebas para determinar la temperatura óptima para aplicar presión a la cámara. Cargue la cámara con la repisa y las bandejas vacías e incremente la temperatura hasta la temperatura de envejecimiento. Cuando la temperatura dentro de la cámara esté a 10°C de la temperatura de envejecimiento, aplique una presión de aire de  $2,1 \pm 0,1$  MPa. Registre el incremento de temperatura producido al aplicar la presión. Repita el procedimiento al menos tres veces y use el promedio del incremento de las temperaturas para establecer la temperatura a la cual se debe aplicar la presión a la cámara para realizar el proceso de envejecimiento.

## 7.- Procedimiento.

**7.1** Use los procedimientos estándares de seguridad en el laboratorio para la manipulación del ligante asfáltico caliente cuando prepare las muestras y remueva el residuo desde la cámara de presión. Tenga especial precaución cuando libere la presión de la cámara.

**7.2** Envejezca el ligante asfáltico mediante el Método 8.302.33, Asfalto: Método de Ensaye de Película Delgada Rotatoria, y determine el cambio de masa producido.

**7.3** Combine el residuo caliente proveniente del ensaye anterior dentro de un solo recipiente, agite para mezclar y vacíelo en las bandejas de acero inoxidable, o bien, deje que el residuo se enfríe a temperatura ambiente, cubra y reserve hasta realizar el ensaye de envejecimiento acelerado. Si el ligante asfáltico se deja enfriar a temperatura ambiente, se debe calentar nuevamente hasta que esté suficientemente fluido; luego, agite para mezclar y después, vierta a las bandejas. Para remover el asfalto desde las botellas de envejecimiento de película delgada rotatoria, puede raspar las mismas para asegurar que haya suficiente material para ensayos posteriores. Actualmente el raspado no está permitido en el Método 8.302.33. Si se usa este Método, se debe informar con los resultados del ensaye.

**7.4** Coloque la repisa dentro de la cámara de presión. Si se va a usar un horno, coloque la cámara dentro del horno. Si se va a usar un control integrado de temperatura en la cámara, encienda el calentador. Seleccione una temperatura de envejecimiento y precaliente la cámara de presión a la temperatura de envejecimiento seleccionada.

**Nota 5.** Para acondicionar el ligante en conformidad con la Especificación 8.301.8, seleccione la temperatura de envejecimiento adecuada desde la Tabla correspondiente de dicha Especificación.

**Nota 6:** Se puede precalentar la cámara de presión 10°C a 15°C por sobre la temperatura de acondicionamiento, para reducir la caída de temperatura en la cámara durante el proceso de carga de las bandejas, y minimizar el tiempo requerido para estabilizar el sistema una vez cargado y obtener así la temperatura requerida con mayor facilidad.

**Nota 7:** La temperatura de envejecimiento en el PAV o cámara de envejecimiento acelerado se selecciona considerando diferentes regiones climáticas. Temperaturas que excedan aproximadamente 115°C pueden cambiar la estructura química del ligante asfáltico envejecido en ensayos acelerados, y deben evitarse.

**7.5** Coloque las bandejas de acero inoxidable sobre una balanza y agregue  $50 \pm 0,5$  g de ligante asfáltico a cada una. Esto producirá una capa de ligante de 3,2 mm de espesor, aproximadamente.

**Nota 8:** El cambio de masa no se mide como parte de este procedimiento. El cambio de masa no es significativo, porque el ligante asfáltico absorbe aire como resultado de la presurización. Cualquier ganancia en masa como resultado de la oxidación se ve enmascarado por la absorción de aire por parte del ligante como resultado de la presurización.

**7.6** Si la cámara es precalentada a una temperatura distinta a la deseada, reajuste el control de temperatura del dispositivo calentador a la temperatura de envejecimiento.

**7.7** Coloque las bandejas con ligante asfáltico en el bastidor (bandejas con ligantes asfálticos provenientes de distintas fuentes o grados pueden ser colocadas en la cámara durante un mismo ensaye). Coloque la repisa con las bandejas llenas dentro de la cámara de presión y ciérrela.

**7.8** Si se usa un horno, coloque la cámara de presión cargada y ciérrela dentro del mismo.

**7.9** Conecte las líneas transductoras de temperatura y presión a las conexiones externas de la cámara.

**7.10** Realice las operaciones descritas en los numerales 7.6 al 7.9 tan pronto como sea posible para evitar el enfriamiento de la cámara y la repisa.

**7.11** Espere hasta que la temperatura dentro de la cámara de presión esté dentro de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  debajo de la temperatura de envejecimiento, aplique una presión de aire de  $2,1 \pm 0,1$  MPa e inicie el registro del tiempo del ensaye. Si la temperatura dentro de la cámara de presión no alcanza la temperatura deseada mediante la aplicación de presión dentro de 2 h, a contar de la carga del bastidor con las bandejas, interrumpa el procedimiento y descarte las muestras de asfalto.

**Nota 9:** Presiones que excedan 2,1 MPa no incrementan sustancialmente la rapidez de envejecimiento. Por ello, no se justifican presiones mayores que la señalada.

**Nota 10:** Una vez presurizada, la temperatura dentro de la cámara de presión se equilibra rápidamente. El tiempo bajo presión, sin incluir el período de precalentamiento a presión ambiente, corresponde al tiempo de envejecimiento. Dado que el ligante asfáltico ha sido envejecido a  $163^\circ\text{C}$  en el ensaye de película delgada rotatoria, el envejecimiento producido a presión ambiente durante el período de precalentamiento es pequeño, y por lo tanto, ese tiempo no se considera.

**7.12** Mantenga la temperatura y la presión de aire dentro de la cámara por  $20 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$ .

**7.13** Al final del período de ensaye de 20 h, comience a reducir lentamente la presión dentro de la cámara usando la válvula desangradora o válvula de alivio. Ajuste dicha válvula a una apertura tal que requiera  $9 \pm 1$  min para igualar las presiones externas e internas de la cámara, evitando así el excesivo burbujeo y la formación de espuma en el ligante. Durante este proceso puede ser necesario ajustar la configuración de la aguja de la válvula a la caída de presión, para mantener una rapidez de caída de presión aproximadamente lineal. No incluya los tiempos de liberación e igualación de presión, como parte de las 20 h del período de envejecimiento.

**7.14** Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura se sitúa sobre o bajo la temperatura de envejecimiento  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  por más de 60 min durante el período de 20 h, el ensaye se declara no válido y deseche el material.

**7.15** Remueva el bastidor con las bandejas desde la cámara y coloque las bandejas en un horno a  $163^\circ\text{C}$  por  $15 \pm 1$  min. Caliente hasta que el ligante esté lo suficientemente fluido. Agite suavemente para ayudar a la remoción de burbujas de aire.

**Nota 11:** Se recomiendan las temperaturas mínimas de vertido que producen una consistencia equivalente al grado de aceite de motor SAE 10W 30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). El calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos a temperaturas superiores a  $135^\circ\text{C}$  debe ser evitado; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre  $135^\circ\text{C}$ . El residuo del ensaye acelerado de envejecimiento en cámara de presión debe dejarse calentando en las bandejas a  $163^\circ\text{C}$ , y ser agitado para remover las burbujas de aire. En todos los casos el tiempo de calentamiento debe ser minimizado. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento por oxidación y la pérdida de volátiles que endurezcan la muestra. Durante el proceso de calentamiento, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente para asegurar homogeneidad.

**Nota 12:** Se recomiendan temperaturas de vaciado, que produzcan una consistencia tal que el asfalto se vierta fácil, pero no se recomienda que esté muy fluido. Como sea, se puede requerir para algunos ligantes modificados o ligantes excesivamente envejecidos, temperaturas sobre  $135^\circ\text{C}$ . Residuos de PAV (Cámara de Envejecimiento a Presión) pueden calentarse en los platillos del ensaye de horno de

película delgada a 163°C y agitarse. Estas precauciones ayudarán a evitar endurecimiento por oxidación y pérdidas de volátiles que endurecerán a las muestras. Durante el proceso de calentado, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente, raspando el fondo de los platillos para asegurar homogeneidad

**7.16** Precaliente el horno de vacío hasta estabilizarlo a  $170 \pm 5^\circ\text{C}$ . Remueva las bandejas desde el horno y vierta el residuo caliente desde las bandejas a un solo recipiente. Si los ensayos para determinar las propiedades del residuo no se realizan inmediatamente, se puede dividir el contenido del recipiente en recipientes individuales, cubrir y almacenar a temperatura ambiente para futuros ensayos.

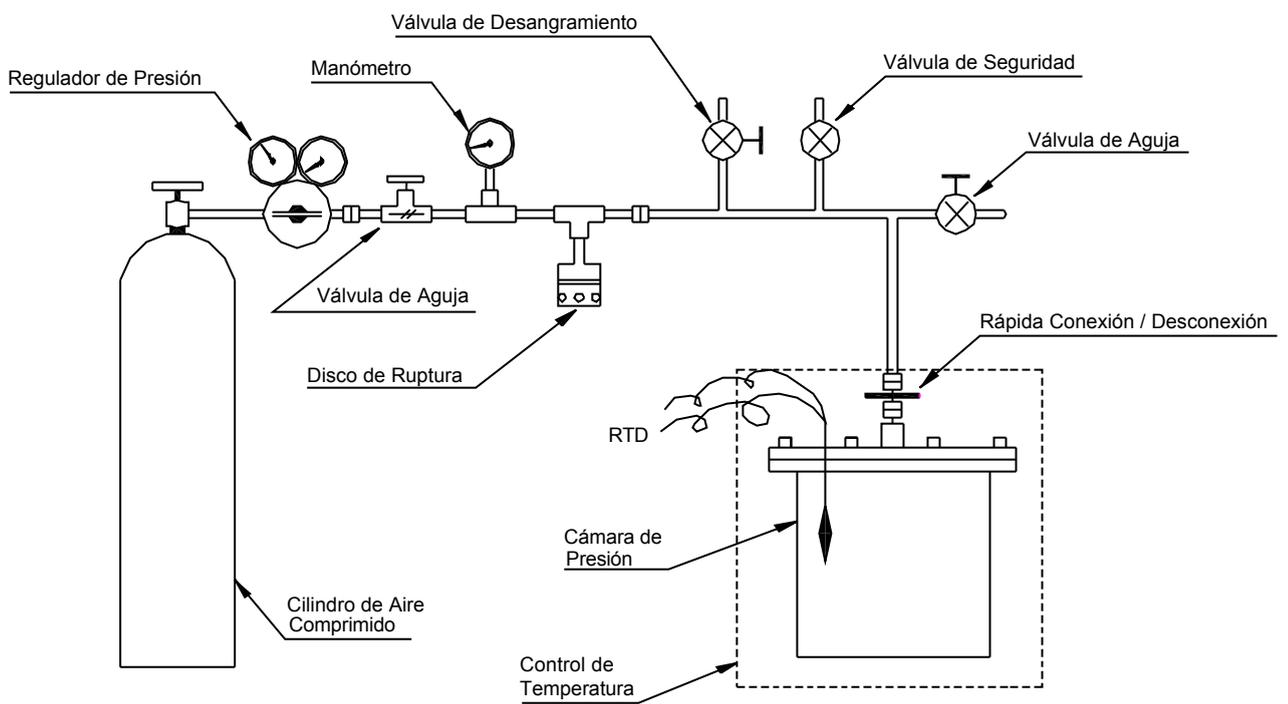
**7.17** Retire las bandejas del horno y vierta el residuo caliente a un solo recipiente. Seleccione un recipiente de dimensiones tales que la profundidad del residuo sea de 15 a 40 mm. Después de haber vaciado la última bandeja, transfiera el recipiente al horno de vacío dentro de un 1 min y mantenga la temperatura en  $170 \pm 5^\circ\text{C}$  durante  $10 \pm 1$  min, sin aplicar vacío. Después de los 10 min de equilibrio, abra la válvula de vacío tan rápidamente como sea posible, para reducir la presión en el horno a  $15 \pm 2,5$  kPa absolutos durante  $30 \pm 1$  min. Al final de los 30 min, libere el vacío y retire la repisa. Si hay burbujas visibles en la superficie del residuo, se deben remover aplicando una antorcha o un cuchillo caliente sobre la superficie.

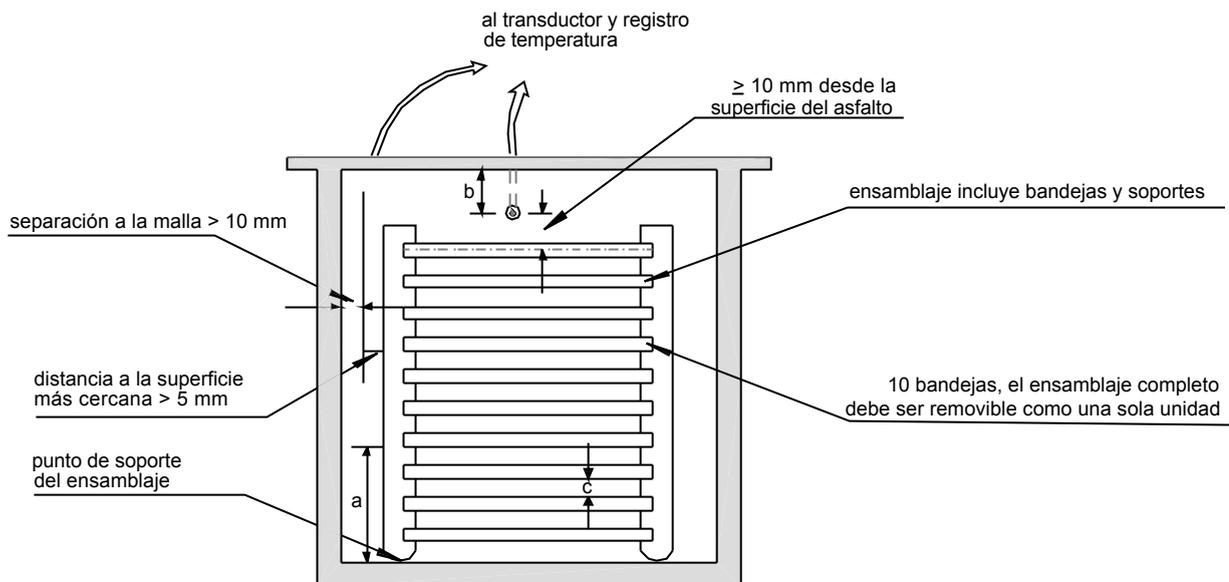
**Nota 13:** Una presión absoluta de  $15 \pm 2,5$  kPa es equivalente a una lectura de 25 a 26½ pulgadas de mercurio (in Hg) en un medidor de vacío estándar.

**8.- Informe.** Registre la siguiente información

- a) Identificación de la muestra.
- b) Temperatura de envejecimiento del ensaye, aproximada a  $0,5^\circ\text{C}$ .
- c) Registro de temperaturas máximas y mínimas, aproximadas a  $0,1^\circ\text{C}$ .
- d) Tiempo total de envejecimiento durante el que la temperatura estuvo fuera del rango específico, aproximado al minuto.
- e) Tiempo total de envejecimiento.
- f) Indique la temperatura y el tiempo de calentamiento, si fueron requeridas temperaturas mayores que  $163^\circ\text{C}$  en cualquier momento durante la manipulación del material.

**9.- Precisión.** La investigación requerida para desarrollar estimaciones de precisión para los ensayos en residuos de PAV no se ha efectuado.





Nota 1 : La distancia "a" controla la horizontalidad de las bandejas. El ensamblaje debe estar sostenido en tres o más puntos. La distancia "a", medida desde cada punto de soporte a la parte inferior de la bandeja ( o al soporte de la bandeja), debe ser controlada con una precisión de  $\pm 0,05$  mm. Se debe estar seguro que el fondo de la cámara está nivelado, de modo que el espesor de la película de asfalto en cada bandeja, no varíe más de  $\pm 0,05$  mm a lo largo de cualquier diámetro.

Nota 2 : La distancia "b" debe ser tal que cualquier parte activa del transductor de temperatura está a más de 10 mm desde la superficie superior de la cámara.

Nota 3 : La distancia "c" debe ser mayor o igual a 12 mm.

## 8.302.24 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD

**1.- Alcances y Campo de Aplicación** Este método entrega un procedimiento para medir la viscosidad aparente del asfalto a temperaturas desde 60 a 200°C, usando un Viscosímetro Rotacional equipado con el sistema Thermosel.

La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

Algunos asfaltos pueden exhibir un comportamiento no Newtoniano bajo las condiciones de este ensaye, o a temperaturas dentro del rango de este método. Los valores de viscosidad no Newtonianos no son la única propiedad del material, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo las condiciones particulares del ensaye. En estos casos, las medidas hechas con este método no siempre predicen el comportamiento bajo las condiciones de uso posterior. Las comparaciones entre valores de viscosidad no Newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones.

**Nota 1:** El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En este Método no se indican todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer las medidas apropiadas de seguridad e higiene.

### 2.- Referencias.

- Especificación 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave.
- AASHTO PP6, Practice for Grading and Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder.
- AASHTO TP48, Method for Viscosity determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer.

### 3.- Terminología.

**3.1 Viscosidad.** Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y comúnmente se denomina viscosidad. En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el pascal segundo (Pa · s); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise (dina·s/cm<sup>2</sup>) y equivale a 0,1 Pa · s. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo (mPa · s).

**4. Resumen del Método.** Este método se utiliza para medir la viscosidad del asfalto a altas temperaturas. Una pequeña muestra de asfalto se coloca en un contenedor especial termostáticamente controlado. La medida del torque aplicado sobre un vástago cilíndrico que gira sumergido en la muestra de asfalto, se utiliza para determinar la resistencia relativa a la rotación. El torque y la velocidad de giro permiten determinar la viscosidad del ligante.

### 5. Aparatos y Materiales.

**5.1 Viscosímetro Rotacional.** Capaz de medir el torque necesario para hacer girar un vástago sumergido en asfalto a temperatura de ensaye fija y a una velocidad constante; el equipo debe poseer una pantalla digital y mostrar la viscosidad en Pa·s automáticamente.

**5.2 Vástagos o spindles.** De varias medidas para ser utilizados con asfaltos de diferentes viscosidades.

**5.3 Controlador de Temperatura.** Un controlador de temperatura (como el Thermosel, Brookfield), capaz de mantener la temperatura de la muestra con una precisión de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  para temperaturas de ensaye de  $65^{\circ}\text{C}$  a  $165^{\circ}\text{C}$  o mayores.

**5.4 Horno.** Capaz de mantener y controlar la temperatura hasta  $212^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

**5.5 Termómetros** Para medir temperaturas desde 60 hasta  $212^{\circ}\text{C}$  con una lectura de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

**5.6 Balanza.** Con capacidad para 2.000 g y lectura de 0,1 g.

**5.7 Solventes.** Solventes o limpiadores desgrasantes, formulados para limpiar los contenedores de muestras, vástagos y accesorios.

**6. Calibración y Estandarización.** Realice la calibración del equipo según las instrucciones dadas por el proveedor.

**6.1** La precisión del transductor rotacional del viscosímetro se verifica usando un líquido de referencia (líquido Newtoniano) de viscosidad conocida a varias temperaturas. El comportamiento newtoniano del líquido, en todo el rango de temperaturas de ensaye, debe estar certificado. La viscosidad medida con el viscosímetro debe estar dentro de un  $\pm 2\%$  o el transductor rotacional requiere recalibración.

**6.2** La precisión de la lectura de temperatura del controlador se verifica colocando una muestra de asfalto en la cámara hasta que la temperatura se estabilice. La temperatura indicada debe ser verificada mediante un dispositivo NIST, tal como se indica en la norma ASTM E1.

## 7.- Preparación de las Muestras

**7.1** Obtenga las muestras de asfalto original o modificado, de acuerdo al 8.302.1, Asfaltos: Métodos de Muestreo.

**7.2** Caliente el asfalto hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensaye remueve asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) el cual puede ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

**Nota 2:** Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento que produzca una consistencia equivalente a la del aceite SAE 10W30 a temperatura ambiente. La temperatura específica dependerá del grado asfáltico y su historia de envejecimiento previa, si la tiene. Es deseable no calentar los asfaltos a más de  $135^{\circ}\text{C}$ , sin embargo algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir temperaturas mayores.

## 8. Procedimiento de Ensaye.

**8.1** Lea y entienda la información contenida en el manual de instrucciones del fabricante del viscosímetro rotacional antes de proceder.

**8.2** Encienda el viscosímetro rotacional y el controlador de temperatura.

**8.3** Precaliente el contenedor de asfalto, el soporte y el vástago seleccionado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

**8.4** Configure el controlador de temperatura a la temperatura de ensaye deseada.

**8.5** Caliente la cantidad requerida de ligante asfáltico, según lo recomendado por el fabricante, de acuerdo al numeral 7.

**8.6** Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensaye deseada, retire el soporte de las muestras y coloque la cantidad de asfalto requerida en el contenedor de asfalto.

**8.7** Inserte el contenedor de la muestra en la unidad controladora de temperatura.

**8.8** Inserte un vástago previamente precalentado y únalo a la parte inferior del viscosímetro, utilizando los accesorios de acoplamiento incluidos con el equipo. Una vez acoplado, bájelo suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra la parte cónica superior del vástago.

**8.9** Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de ensaye dentro de, aproximadamente, 30 min. y permita que la temperatura se estabilice por 10 min.

**8.10.** Configure la velocidad de giro del viscosímetro a 20 rpm y ajuste el equipo para la lectura de la viscosidad en Pascal segundos (Pa · s). Esto se puede realizar en forma manual o utilizando un software especial. Si la lectura de torque desplegada por el equipo está fuera de rango para el vástago y velocidad de giro seleccionados, cambie el vástago o la velocidad de ensaye, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y considerando las viscosidades que se cree tenga el asfalto en estudio. Reemplace la muestra asfáltica por una nueva.

**8.11** Después que el asfalto ha alcanzado la temperatura de ensaye especificada y una vez estabilizada, inicie el ensaye.

**8.12** Realice tres lecturas de viscosidad a intervalos de 3 minutos.

**8.13** Repita el procedimiento para mediciones a otras temperaturas.

## **9.- Resultados e Informe**

**9.1** Determine la viscosidad del asfalto como el promedio de las tres mediciones realizadas. Si la viscosidad está expresada en unidades de centipoise (cP), multiplique por 0,001 para obtener pascal segundos (Pa.s).

**9.2** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Fecha y hora de ensaye.
- b) Temperatura de ensaye aproximada a 0,1°C.
- c) Velocidad de giro en rpm.
- d) N° de vástago utilizado.
- e) Torque medido, expresado en %.
- f) Promedio de las viscosidades, en Pa · s.

## **10. Repetibilidad y Reproducibilidad**

Use los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de resultados de medición de viscosidad de asfaltos medidos a una temperatura de 135°C:

**10.1 Precisión para un Mismo Operador (Repetibilidad).** El coeficiente de variación de un sólo operador es de 2,6%; en consecuencia, valores obtenidos por duplicado, por un mismo operador, en un mismo laboratorio y con los mismos equipos, no serán considerados sospechosos a menos que difieran en más de un 7,3% (diferencias de los promedios).

**10.2 Precisión Multilaboratorio (Reproducibilidad).** El coeficiente de variación interlaboratorios es de 7,4%; en consecuencia los valores reportados por dos laboratorios, sobre un mismo material, no serán considerados sospechosos a menos que difieran en más de un 21,1%.

**10.3 Sesgo.** El sesgo de este ensaye no ha sido determinado.



## 8.302.25 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXION A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REOMETRO DE VIGA DE FLEXION

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1** Este método cubre la determinación de la rigidez o fluencia en flexión bajo carga constante de ligantes asfálticos, mediante un reómetro de viga de flexión. Es aplicable a materiales con valores de rigidez en flexión entre 20 MPa y 1 GPa (valores de deformabilidad en flexión de  $50 \text{ nPa}^{-1}$  a  $1 \text{ nPa}^{-1}$ ) y puede ser usado con material original o envejecido usando 8.302.33 u 8.302.23. El equipo de ensaye está diseñado para operar en un rango de temperatura desde  $-36$  a  $22$  °C.

**1.2** Los resultados obtenidos no son válidos para vigas de ligante asfáltico que se deflecten más de 4 mm o menos de 0,08 mm, cuando se ensayen de acuerdo a esta norma.

**1.3** Este procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En esta norma no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer apropiadas medidas de seguridad e higiene.

**1.4** Este procedimiento se basa en AASHTO TP1-98, Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).

### 2.- Referencias.

- Método 8.301.8 Asfaltos: especificaciones Superpave.
- Método 8.302.23 Asfaltos: método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara de envejecimiento a presión
- Método 8.302.1 Asfaltos: métodos de muestreo.
- Método 8.302.33 Asfaltos: método de ensaye de película delgada rotatoria.
- Norma DIN 43760 termómetro de resistencia platino.

### 3.- Definiciones y Terminología.

**3.1 Ligante Asfáltico.** Cemento asfáltico, producido a partir del residuo de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.

**3.2 Endurecimiento Físico.** Rigidización tiempo - dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.

**3.3 Creep en Flexión.** Para el propósito de este método, se usa este término para definir cualquier característica del ligante asfáltico que se determina en un ensaye de creep en flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga  $\delta(t)$ . Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensaye como el descrito, es una propiedad en creep.

**3.4 Rigidez Flexural en Creep, S(t).** Razón entre la máxima tensión de flexión y la máxima deformación de flexión en la viga.

**3.5 Deformabilidad Flexural en Creep, D(t).** Razón entre la máxima deformación de flexión y la máxima tensión de flexión en la viga. D(t) es el inverso de S(t). S(t) ha sido usado históricamente en la tecnología del asfalto donde D(t) es comúnmente usado en estudios de viscoelasticidad

**3.6 Valor-m .** Valor absoluto de la pendiente de la curva del logaritmo de la curva de rigidez versus el logaritmo del tiempo.

**3.7 Carga de Contacto.** Carga requerida para mantener contacto positivo entre la viga y la columna de carga;  $35 \pm 10$  mN.

**3.8 Carga de Asentamiento.** Carga de 1 s de duración requerida para asentar la viga;  $980 \pm 50$  mN.

**3.9 Carga de Ensaye.** Carga de 240 s de duración requerida para determinar la rigidez del material ensayado  $980 \pm 50$  mN.

**3.10 Tiempo Cero de Ensaye.** Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensaye (carga de ensaye).

#### 4. Resumen del Método.

**4.1** El reómetro de viga de flexión mide la deflexión en el punto medio de una viga de ligante asfáltico simplemente apoyada, sometida a carga constante aplicada en su punto medio. El dispositivo opera sólo en el modo de carga, es decir, no se obtienen mediciones de recuperación.

**4.2** Se coloca una viga de ensaye en un baño de fluido a temperatura controlada y se somete a carga constante por 240 s. La carga de ensaye ( $980 \pm 50$  mN) y la deflexión del punto medio de la viga se registran usando un sistema computarizado de monitoreo durante el ensaye.

**4.3** La tensión máxima de flexión en el punto medio de la viga se calcula a partir de las dimensiones de la viga, la luz (distancia entre apoyos) y la carga aplicada a la viga, a intervalos de tiempo (8, 15, 30, 60, 120 y 240 s). La máxima deformación unitaria de flexión en la viga se calcula para los mismos intervalos de tiempo de carga, a partir de las dimensiones y la deflexión de la viga. La rigidez de la viga para los tiempos de carga especificados se calcula dividiendo la tensión máxima por la deformación unitaria máxima.

**4.4** Para verificar que la carga completa de ensaye ( $980 \pm 50$  mN) se aplica dentro de los primeros 0,5 s, se informa la carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 s. Estos datos no se usan en el cálculo de la rigidez ni del "valor m" y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo en que se aplica la carga total de ensaye puede verse afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, presión de aire inapropiada, malfuncionamiento de los sistemas de aire (esticción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0,0 y 0,5 s, el usuario de los resultados del ensaye puede determinar las condiciones de carga.

**Nota 1:** La esticción puede ser comprobada colocando una carga de 3 g o menos sobre la columna de carga en la posición de flotación, y observando que la columna de carga se mueva cuando se aplique la carga.

#### 5. Significado y Uso.

**5.1** La temperatura de ensaye está relacionada con las temperaturas experimentadas por el pavimento en el área geográfica en el cual el ligante asfáltico se considera usar.

**5.2** La rigidez o la deformabilidad flexural en creep, , determinados a partir de este ensaye, describe la respuesta tensión-deformación-tiempo de ligantes asfálticos a bajas temperaturas, a la temperatura de ensaye, dentro del rango de respuesta viscoelástica lineal.

**5.3** La resistencia de mezclas asfálticas al agrietamiento térmico a bajas temperaturas, está relacionada con la rigidez en creep y el "valor m" (pendiente de la curva del logaritmo de la rigidez en creep en función del logaritmo del tiempo de carga), para el ligante asfáltico contenido en la mezcla.

**5.4** La rigidez flexural en creep y el "valor m" se usan como criterio de especificación basado en el desempeño de ligantes asfálticos, de acuerdo a la Especificación 8.301.8.

#### 6.- Aparatos.

**6.1 Sistema de Ensaye Reómetro de Viga de Flexión (BBR).** El sistema de ensaye reómetro de viga de flexión consiste en:

- i Un marco de carga que permita que la viga de ensaye, soportes y la parte más inferior del marco de ensaye, sean sumergidos en un baño fluido a temperatura constante.
  - ii Un baño líquido a temperatura controlada que permita mantener la viga de asfalto a la temperatura de ensaye y que provea de una fuerza capaz de contrarrestar la fuerza resultante de la masa de la viga.
  - iii Un componente de registro de datos controlado automáticamente por computador.
- a) Marco de Carga.** El marco de carga consiste en soportes para la muestra, un vástago de punta redondeada que aplique la carga en el punto medio de la probeta, una celda de carga montada en el vástago, instrumentos para inicializar la carga sobre la probeta, instrumentos para aplicar carga constante a la columna de carga y un transductor medidor de deflexión adosado a la columna de carga. La Lámina 8.302.25.A muestra un esquema del dispositivo.
- Apoyos para la viga. Apoyos transversales para la viga de asfalto, consistentes en una base y un soporte horizontal con una superficie superior curva de radio  $3,0 \pm 0,25$  mm y costados inclinados en un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal (ver Lámina 8.302.25.A). Los apoyos, hechos de acero inoxidable (u otro material resistente a la corrosión), deben estar separados  $102,0 \pm 0,5$  mm entre sí. El ancho útil del soporte será de  $9,5 \pm 0,25$  mm. Esto se requiere para asegurar que los bordes de la viga, resultantes del proceso de moldeado, no interfieran con la medición de la deflexión durante el ensaye. Además, los apoyos deben incluir chavetas de alineamiento en el punto superior, a  $6,75 \pm 0,25$  mm desde el centro de los apoyos. Estas chavetas deben ser colocadas sobre el lado posterior de los apoyos para alinear la probeta en el centro de dichos apoyos. Ver detalles en Lámina 8.302.25.A.
  - Vástago de Carga. Vástago de punta redondeada, con superficie de contacto esférica, de radio  $6,25 \pm 0,25$  mm, continua con una celda de carga y un transductor medidor de deflexión, capaz de aplicar una carga de contacto de  $35 \pm 10$  mN y mantener una carga de ensaye de  $980 \pm 50$  mN, constante dentro de  $\pm 5$  mN, usando presión diferencial de aire u otro medio para tal ajuste como, por ejemplo, un sistema electro hidráulico. El tiempo de carga de ensaye debe ser menor que 0,5 s, donde el tiempo de carga de ensaye se define como el tiempo requerido para que la carga se incremente desde una precarga de  $35 \pm 10$  mN. hasta la carga de ensaye de  $980 \pm 50$  mN. Durante el tiempo de carga, el sistema amortiguará la carga de ensaye después de los primeros 5 s a un valor constante de  $\pm 10$  mN.
  - Celda de Carga. Celda de carga con una capacidad mínima de 2.000 mN, y una resolución mínima de 2,5 mN, montada en línea con el vástago de carga y por encima del fluido del baño, para medir la carga de contacto y la carga de ensaye.
  - Transductor Diferencial Variable Lineal (LVDT). Un transductor diferencial variable lineal u otro dispositivo montado axialmente sobre el vástago de carga, capaz de registrar un movimiento lineal menor o igual a  $2,5 \mu\text{m}$ , con un rango de al menos 6 mm para medir la deflexión en la viga.
- b) Baño Líquido de Temperatura Controlada.** Capaz de mantener la temperatura en todos los puntos dentro del baño entre  $-36$  y  $22^\circ$  C, con un margen de  $\pm 0,1^\circ$  C. La colocación de una probeta fría en el baño puede causar que la temperatura del baño con una precisión de  $\pm 0,2^\circ$  C de la temperatura de ensaye requerida, por lo tanto se permitirán fluctuaciones en el baño de  $\pm 0,2^\circ$  C bajo condiciones isotérmicas.
- Agitador. Un agitador para mantener la temperatura homogénea, con una intensidad de agitación tal que las corrientes en el fluido no perturben el proceso de ensaye, ni provoque vibraciones que produzcan variaciones en las lecturas mayores a las especificadas en el tercer y cuarto párrafo de 6.1a.
  - Circulador (opcional). Unidad circuladora de fluido, separada del marco de ensaye, la cual bombea el fluido a través del baño. Si se emplea, las vibraciones producidas por el equipo deben ser aisladas de la cámara del baño, de manera que su efecto en los registros sea menor que lo indicado en el tercer y cuarto párrafo de 6.1a.
- c) Sistema de Adquisición de Datos.** Sistema que registre la carga con una precisión de 2,5 mN, la deflexión de la viga con precisión de  $2,5 \mu\text{m}$ , y la temperatura del baño líquido con una precisión de  $0,1^\circ$  C. El sistema debe detectar el momento en el cual se envía la señal a la válvula(s) solenoide para cambiar el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensaye (carga de ensaye). Ese instante es el tiempo cero del ensaye. Usando este instante como referencia, el sistema debe registrar las medidas de carga y deflexión relativas a partir del tiempo

cero. El sistema debe registrar la carga y deflexión a los. 0,0; 0,5; 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 s. Cada registro será el promedio de tres o más lecturas tomadas dentro de  $\pm 0,2$  s del tiempo especificado de registro. Por ejemplo, se mide para un tiempo de carga de 7,8; 7,9; 8,0; 8,1 y 8,2 s.

- Filtro Digital o Análogo. Se puede requerir el filtrado digital o análogo de los datos de deflexión y carga para eliminar el ruido electrónico que, de lo contrario, podría afectar la capacidad de la polinomial de segundo orden para calzar los datos con suficiente exactitud como para obtener una estimación confiable del "valor-m". Las señales de carga y deflexión pueden ser filtradas con un filtro digital o análogo de bajo paso, que remueva las señales de frecuencia mayor que 4 Hz. El promedio deberá ser obtenido en un período menor o igual que  $\pm 0,2$  s con respecto al tiempo especificado de registro.

**6.2 Equipo para Medición de Temperatura.** Transductor de temperatura calibrado, capaz de medir temperaturas con una precisión de  $0,1$  °C en el rango de  $-36$  a  $22$  °C. Debe ir montado dentro de los 50 mm del punto medio de los apoyos de la probeta.

**Nota 2:** La medición de temperatura puede ser llevada a cabo con un termómetro de resistencia de platino (RTD) o con un termistor calibrado apropiadamente. La calibración del RTD o termistor puede ser verificada como se indica en 6.6. Se recomienda el uso de RTD bajo estándar DIN 43760 (Clase A). Para obtener la exactitud y precisión requeridas es necesario que cada RTD sea calibrado como un sistema, con su respectivo medidor o circuito electrónico.

**6.3 Moldes para la Viga de Ensaye.** Moldes para producir vigas de asfalto cuyas dimensiones, una vez desmoldadas, sean de  $6,35 \pm 0,05$  mm de espesor por  $12,70 \pm 0,05$  mm de ancho y  $127 \pm 2,0$  mm de largo. Los moldes serán fabricados de aluminio liso, en las dimensiones indicadas en la Lámina 8.302.25.B.

**6.4 Vigas de Acero Inoxidable.** Una viga de acero inoxidable de  $6,35 \pm 0,10$  mm de espesor por  $12,7 \pm 0,2$  mm de ancho y  $127 \pm 2,0$  mm de largo para el sistema de medición de deformabilidad, y una viga de acero inoxidable de  $1,0$  a  $1,6$  mm de espesor por  $12,7 \pm 0,1$  mm de ancho, medidos al  $\pm 0,01$  mm, por  $127$  mm de largo medidos al  $\pm 1$  mm, de módulo elástico conocido (especificado por el fabricante) para comprobar periódicamente el desempeño del BBR. El espesor y el ancho de esta última viga debe ser medido e informado, para los cálculos, con una precisión de  $\pm 0,01$  mm.

**6.5 Masas Estándares.** Una o más masas estandarizadas de  $50,0$  a  $100,0$  g, certificadas a  $\pm 0,2$  g, para la verificación periódica de la calibración del BBR.

**6.6 Termómetros Calibrados.** Termómetros calibrados de líquido en vidrio, para la verificación de la temperatura del transductor, con un rango adecuado y subdivisiones de  $0,1$ ° C. Estos termómetros deben estar calibrados de acuerdo con ASTM E77.

**6.7 Medidor de Espesor.** Un medidor de espesores escalonados, para verificar las calibraciones del transductor de desplazamiento, como describe la Lámina 8.302.25.C.

## 7.- Materiales.

**7.1 Láminas plásticas.** Plástico laminado limpio, de  $0,08$  a  $0,15$  mm de espesor, para revestir las tres caras interiores más grandes del molde de aluminio. Las láminas no deben ser deformadas por el ligante asfáltico caliente. Las transparencias para impresora láser han dado resultados adecuados.

**7.2 Grasa a Base de Petróleo.** Grasa basada en petróleo para adherir las láminas plásticas a las caras interiores del molde. No se deben usar productos a base de silicona.

**7.3 Mezcla Glicerol-Talco.** Lubricante usado como desmoldante para revestir las piezas extremas de los moldes de aluminio. Para este propósito, se puede utilizar una mezcla de  $20$  % en peso de glicerina grado USP y  $80$  % de talco grado USP o caolín (arcilla para loza china).

**7.4 Fluido para el Baño Térmico.** Un fluido que no sea absorbido por el ligante asfáltico y que no afecte sus propiedades. La densidad del fluido no debe exceder  $1,05 \text{ g/cm}^3$  en el rango de temperaturas de ensaye. El fluido debe ser transparente para el rango de temperaturas de ensaye. Se considera que fluidos como el etanol, el metanol y mezclas de glicolmetanol (por ejemplo, 60% glicol, 15% de metanol y 25% de agua) son adecuados.

## 8.- Preparación de los Aparatos.

**8.1** Limpie los apoyos, la cabeza de carga y el baño de fluido; retire cualquier partícula o revestimiento.

**Nota 3:** Debido a la fragilidad del ligante asfáltico a las temperaturas a las que se realiza este ensaye, es posible que en el líquido del baño haya pequeños fragmentos de ligante. Si estos fragmentos se ubican en los apoyos o en la cabeza de carga, se afectará la medición de deflexión. Los fragmentos pequeños, debido a su tamaño, se deformarán al ser cargados y agregarán una deflexión aparente a la viga. El uso de filtros puede ayudar a preservar los requerimientos de limpieza del l baño.

**8.2** Seleccione la temperatura de ensaye y ajuste el baño líquido a la temperatura seleccionada. Espere hasta que la temperatura se estabilice y luego permita el equilibrio del baño a la temperatura de ensaye  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

**8.3** Active el sistema de adquisición de datos y cargue el software como se explica en el manual del fabricante para el sistema de ensaye.

## 9.- Estandarización.

**9.1 Verificación.** Verifique la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura, tal como se describe en 9.1 y 9.2. Realice cada paso de esta sección cada día antes de realizar un ensaye. Además, realice una verificación general sobre el desempeño del BBR, como se describe en 9.3.

- a) Verificación del transductor de desplazamiento. Verifique la calibración del transductor de desplazamiento usando un calibrador de espesor escalonado, de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la Lámina 8.302.25.C. Coloque el medidor en una plataforma de referencia bajo la columna de carga según las instrucciones del fabricante. Mida la elevación de los escalones con respecto al borde superior de la superficie del medidor con el transductor de desplazamiento. Si las mediciones varían más de  $\pm 5 \mu\text{m}$  con respecto a las dimensiones especificadas por el fabricante, se requerirá una mantención o calibración adicional. Informe la constante de calibración ( $\mu\text{m/bit}$ ) para el transductor de desplazamiento con 3 cifras significativas. Las constantes de calibración deben ser repetibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será sospechosa.
- b) Verificación de la celda de carga. Verifique la calibración de la celda de carga usando cuatro cargas estáticas estandarizadas, distribuidas uniformemente sobre el rango de carga del ensaye. Realice la calibración dejando la columna de carga sobre la viga de acero inoxidable de 6,35 mm de espesor y cárguela secuencialmente con las cuatro masas, en cuatro etapas sucesivas, registrando la carga después de cada etapa. Si la carga indicada por el sistema de adquisición de datos no concuerda con la fuerza impuesta por las masas dentro de  $\pm 2 \text{ mN}$  en todas las etapas, se requerirá una calibración o mantenimiento adicional. Informe la constante de calibración ( $\text{mN/bit}$ ) para los transductores de carga con 3 cifras significativas. Las medidas de calibración serán reproducibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será considerada sospechosa.
- c) Verificación de la calibración del detector de temperatura. Verifique la calibración del detector de temperatura por medio de un termómetro calibrado de rango adecuado, que cumpla los requerimientos de 5.1. Sumerja el termómetro en el líquido del baño, próximo al detector térmico, y compare la temperatura indicada por el termómetro calibrado con la que despliega el detector. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con la indicada por el termómetro de mercurio dentro de  $\pm 0,1^\circ \text{C}$ , aplique una corrección apropiada a la medida indicada por el detector de temperatura, o realice un mantenimiento o calibración adicional.

**9.2** Determine la deformabilidad del sistema de carga colocando la viga de acero inoxidable de 6,35 mm de espesor sobre los apoyos de ensaye, poniendo el extremo de la columna de carga contra la viga de acero inoxidable y aplicando una carga de  $980 \pm 50$  mN. La deflexión medida será causada por la celda de carga u otras partes del sistema de ensaye. El sistema de adquisición de datos debe ser capaz de dividir la medida de deflexión por la carga aplicada. El cociente, informado por el sistema de adquisición de datos, es la deformabilidad del sistema de carga en  $\mu\text{m}/\text{N}$ . El valor típico de deformabilidad es de 2 a 5  $\mu\text{m}/\text{N}$ . Si la deformabilidad es mayor que 5  $\mu\text{m}/\text{N}$  se debe realizar una mantención o calibración adicional. Durante el ensaye, el sistema de adquisición de datos automáticamente descontará la deformabilidad del sistema de carga, a partir de la medida de deflexión durante un ensaye.

**9.3** Diariamente, realice una verificación general del funcionamiento del sistema, usando la viga de acero inoxidable de espesor 1,0 a 1,6 mm y de módulo conocido. Cargue la viga de acero con 1.961 mN (200 g) usando las masas estandarizadas y midiendo la deflexión en la mitad de la luz (distancia entre los apoyos de la viga). Calcule el módulo elástico de la viga a partir de la carga aplicada y la deflexión medida, y compárelo con el módulo conocido. Si el módulo calculado difiere del módulo medido (de acuerdo a lo informado por el fabricante) en 10 % o más, la operación del sistema será considerado dudosa. En dicho caso, realice el mantenimiento del sistema y repita 9. El sistema de adquisición de datos puede ser usado para registrar la deflexión después de un tiempo de carga especificado (usualmente 20 s), realice los cálculos del módulo y compare el módulo calculado con el módulo conocido. Esta comparación debe registrarse como parte de los resultados de los ensayos de asfaltos para el día en que se realiza la verificación.

## **10.- Preparación de las Probetas de Ensaye.**

**10.1** Para preparar los moldes, extienda una capa muy delgada de grasa (basada en petróleo), sólo lo suficiente para sostener el plástico al molde, sobre las caras interiores de las tres piezas más largas del molde de aluminio. Coloque las láminas plásticas sobre las caras de las piezas de aluminio y frote el plástico con la presión firme del dedo. Ensamble el molde como lo muestra la Lámina 8.302.25.B, usando los anillos de goma, tipo ligas, para sostener las piezas del molde juntas. Inspeccione el molde y presione la película plástica contra el aluminio para expulsar cualquier burbuja de aire. Si persisten burbujas de aire, desarme el molde y reaplique grasa sobre las caras de aluminio. Cubra las caras interiores de las dos piezas extremas con una película delgada de glicerol y talco, para prevenir que el ligante asfáltico se adhiera. Una vez ensamblados los moldes, almacénelos a temperatura ambiente.

**Nota 4:** El espesor de la probeta está controlado por las piezas extremas. El espesor de las piezas extremas se debe medir periódicamente para asegurar que cumplen los requerimientos de 6.3 La rigidez es proporcional a la tercera potencia del espesor.

**10.2** Si se ensaya asfalto original, obtenga muestras de ensaye según Método 8.302.1.

**10.3** Caliente el material hasta que esté suficientemente fluido.

**Nota 5:** Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos a temperaturas superiores a 135° C, sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135° C. El residuo obtenido del ensaye de envejecimiento acelerado en cámara de presión (Método 8.302.23) debe ser puesto en sus bandejas y puede ser calentado hasta 163° C. En todos los casos el tiempo de calentamiento debe ser el mínimo posible. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento oxidativo y la pérdida de volátiles que endurecerán aun más la muestra asfáltica. Durante el proceso de calentamiento la muestra deberá ser cubierta y agitada ocasionalmente para asegurar homogeneidad.

**10.4** Moldeo. Llene el molde con asfalto, vertiéndolo desde un extremo del molde hacia el otro, sobrellenando ligeramente el molde. Al verter, mantenga la cápsula con la muestra 20 a 100 mm por encima de la parte superior del molde, y vierta continuamente hacia el otro extremo en un solo paso. Deje enfriar 45 a 60 min a temperatura ambiente y enrase la superficie de asfalto de la cara de llenado, usando un cuchillo o espátula caliente. Retire el plástico laminado (revestimiento del molde) si éste se ha distorsionado.

**10.5** Almacene todas las muestras de ensaye en sus moldes a temperatura ambiente, previamente al ensaye. Planifique el ensaye de tal manera que se realice dentro de 4 h desde el llenado de los moldes.

**Nota 6:** Los incrementos tiempo-dependientes de la rigidez pueden ocurrir cuando los ligantes son almacenados a temperatura ambiente, incluso por cortos períodos de tiempo. Este incremento de la rigidez es el resultado de asociaciones moleculares y en la literatura se le denomina endurecimiento estérico.

**10.6** Inmediatamente antes de realizar el ensaye, enfríe el molde de aluminio con asfalto en un congelador o baño de hielo a  $-5 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 5 a 10 min, sólo lo suficiente para rigidizar la viga de ligante asfáltico, de modo que pueda ser desmoldada con facilidad y sin distorsionarse (ver Nota 7). Algunos grados más blandos pueden requerir temperaturas más bajas. No enfríe los moldes con las muestras en el baño de ensaye, debido a que pueden producirse fluctuaciones de temperatura en el baño que excedan los  $\pm 0,2^\circ \text{C}$ .

**Nota 7:** El enfriamiento excesivo puede causar un endurecimiento no deseado de la viga, lo que ocasiona un incremento en la variabilidad de los datos de ensaye.

**10.7** Inmediatamente desmolde la probeta, cuando esté lo suficientemente rígida como para ser desmoldada sin que se produzcan distorsiones al desarmar el molde.

**Nota 8:** Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real.

## 11.- Procedimiento de Ensaye.

**11.1** Al ensayar una probeta para verificar el grado de desempeño, seleccione la temperatura de ensaye adecuada usando la Tabla 8.301.8.A de la Especificación 8.301.8. Después de desmoldar, coloque inmediatamente la probeta de ensaye en el baño, y acondiciónelo a la temperatura de ensaye por  $60 \pm 5$  min.

**Nota 9:** Los ligantes asfálticos pueden endurecer rápidamente cuando se mantienen a bajas temperaturas. Este efecto, llamado endurecimiento físico, es reversible cuando el ligante asfáltico es calentado a temperatura ambiente o ligeramente superior. Por ello, el tiempo de acondicionamiento debe ser cuidadosamente controlado si se desean obtener resultados repetibles.

**11.2** Después del acondicionamiento, coloque la viga de asfalto sobre los apoyos e inicie el ensaye. Mantenga el baño a la temperatura de ensaye  $\pm 0,1^\circ \text{C}$  durante la prueba, de otro modo el ensaye debe ser rechazado.

**11.3** Ingrese la siguiente información en el computador que controla el sistema de ensaye: identificación de la probeta, carga de ensaye, temperatura de ensaye, tiempo en que la probeta se ubica en el baño a temperatura de ensaye y cualquier otra información apropiada.

**11.4** Manualmente aplique una carga de contacto de  $35 \pm 10$  mN a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga y el vástago de carga, por no más de 10 segundos.

**Nota 10:** La carga de contacto especificada permite asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, los apoyos y la probeta. Si no se establece el contacto continuo dentro del rango de carga requerido, los resultados no son válidos.

**11.5** Active el sistema automático de ensaye, el cual está programado para proceder como se indica a continuación.

a) Aplique una carga de asentamiento de  $980 \pm 50$  mN. durante  $1,0 \pm 0,1$  s.

**Nota 11:** Las cargas de asentamiento descritas en 11.5 a) y 11.5 b) son aplicadas y removidas automáticamente por el sistema controlador de carga y son independientes del operador. Los datos no son registrados durante la carga inicial.

- b) Reduzca la carga a  $35 \pm 10$  mN y permita a la viga recuperarse por  $20,0 \pm 0,1$  s.
- c) Aplique la carga de ensaye en un rango de  $980 \pm 50$  mN, y mantenga la carga constante a  $\pm 50$  mN por los primeros 5 s y a  $\pm 10$  mN durante el resto del ensaye.

**Nota 12:** La carga actual que actúa sobre la viga, medida en la celda de carga, es usada en el cálculo de la tensión en la viga. Tanto la carga de ensaye como la carga de asentamiento de  $980 \pm 50$  mN, incluyen la precarga de  $35 \pm 10$  mN.

- d) Retire la carga al finalizar el ensaye.
- e) Al final de la carga de asentamiento inicial y al final del ensaye, revise la pantalla del computador para verificar que la carga en la viga en cada caso retorna a  $35 \pm 10$  mN.

**11.6** Retire la probeta de los apoyos y proceda con el siguiente ensaye.

**12.- Cálculo e Interpretación de Resultados.** Ver Anexo.

**13.- Informe.**

**13.1** Entregue la información tal como se muestra en la tabla de la Lámina 8.302.25.A1.A, que describe un ensaye individual, incluyendo:

- a) Temperatura máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 s del ensaye, a intervalos de 1,0 s y con precisión de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
- b) Fecha y hora en que se aplica la carga de ensaye.
- c) Nombre del archivo con los datos del ensaye.
- d) Nombre del operador.
- e) Número de identificación de la muestra.
- f) Hora en que la viga se introduce en el baño.
- g) Hora de inicio del ensaye.
- h) Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensaye.
- i) Coeficiente de correlación,  $R^2$ , para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0,000001.
- j) Otros comentarios (máximo 256 caracteres).
- k) Informe constantes A, B y C con 3 cifras significativas.
- l) Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como:  $100 \% \times (\text{estimada} - \text{medida}) / \text{medida}$ .

**13.2** Informe carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 s.

**13.3** Presente la información que se indica en la tabla de la Lámina 8.302.25.A1.A, Resultados, a los 8, 15, 30, 60, 120, y 240 s, incluyendo:

- a) Tiempo de carga, aproximando a 0,1 s.
- b) Carga, aproximada a 1,0 mN **0,1 g**.
- c) Deflexión de la viga, aproximada a  $1 \mu\text{m}$ .
- d) Módulo de rigidez medido, en MPa, con 3 cifras significativas.
- e) Módulo de rigidez estimado, en MPa, con 3 cifras significativas.
- f) Diferencia entre modulo de rigidez medido y estimado (%).
- g) "Valor-m" estimado, aproximado a 0,001.
- h) Coeficientes de Regresión y ajuste de mínimos cuadrados, valor  $R^2$ .

**14.- Precisión y Sesgo.**

**14.1 Precisión.** El criterio para juzgar la aceptabilidad de la rigidez y pendiente de rigidez en creep obtenidos con este método se muestra en la Tabla 8.302.25.A. Los valores de la columna 2 de la Tabla

8.302.25.A son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones descritas en la columna 1.

**Nota 13:** Los valores estimados de precisión presentados en la Tabla 8.302.25.A, se basan en el análisis de una serie limitada de resultados de diversos laboratorios. El análisis incluyó los siguientes grados asfálticos: PG 64-28, PG 52-34, PG 76-22 y PG 64-22.

- a) Precisión de un mismo operador (Repetibilidad). Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados duplicados, expresada como porcentaje del promedio, exceda los valores dados en la Tabla 8.302.25.A, columna 3.
- b) Precisión Multilaboratorio (Reproducibilidad). Dos resultados referidos por 2 operadores diferentes ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia de los resultados, expresado como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la Tabla 8.302.25.A, columna 3.

**TABLA 8.302.25.A  
PRECISION ESTIMADA**

Condición	Coefficiente de Variación (1s %) <sup>1</sup>	Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s %) <sup>1</sup>
Precisión de un mismo operador:		
Rigidez de Creep (MPa)	3,2	9,1
Valor-m	1,4	4,0
Precisión Multilaboratorio:		
Rigidez de Creep (MPa)	9,5	26,9
Valor-m	4,6	13,0
<sup>(1)</sup> Estos valores representan los límites 1s % y d2s % descritos en la especificación ASTM C 670		

**14.2 Sesgo.** Debido a que no hay un valor aceptable de referencia, el sesgo no ha sido determinado.

## ANEXO A1

(Información Obligatoria)

**A1.1** La Lámina 8.302.25.A1.A incluye una tabla que muestra el resultado típico de un ensaye mediante viga reométrica de flexión. Desprecie las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 s iniciales de la aplicación de la carga de ensaye. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensaye pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y al tiempo de aumento finito. Use sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 s después de aplicada la carga de ensaye, para calcular S(t) y “valor-m”.

**A1.2** Deflexión de una viga elástica. Usando la teoría elemental de flexión, la deflexión en el medio de la luz de una viga elástica prismática de sección constante, cargada en tres puntos, puede ser obtenida aplicando las ecuaciones 1) y 2).

$$\delta = \frac{P L^3}{48 E I} \quad 1)$$

donde:

- δ : Deflexión de la viga al medio de la luz (mm).
- P : Carga aplicada (N).
- L : Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- E : Módulo de elasticidad (MPa).
- I : Momento de Inercia (mm<sup>4</sup>).

Además:

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad 2)$$

donde:

- I : Momento de inercia de la sección transversal de la viga de ensaye (mm<sup>4</sup>).
- b : Ancho de la viga (mm).
- h : Espesor (altura) de la viga (mm).

**Nota 14:** La probeta de ensaye tiene una razón largo : altura de 16:1, por lo tanto la contribución del esfuerzo de corte sobre la deflexión puede ser despreciada.

**A1.3** Módulo de flexión elástico. De acuerdo a la teoría elástica, el módulo de flexión de una viga prismática de sección transversal constante cargada en su punto medio se calcula según:

$$E = \frac{P L^3}{4 b h^3 \delta} \quad 3)$$

donde:

- E : Rigidez flexural de creep dependiente del tiempo (MPa).
- P : carga constante (N).
- L : Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- b : Ancho de la viga (mm).
- h : Espesor de la viga (mm).
- δ : Deflexión de la viga (mm).

**A1.4** Máxima tensión de flexión. La máxima tensión de flexión en la viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La tensión máxima se calcula según:

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 b h} \quad 4)$$

donde:

- σ : Máxima tensión de flexión en la viga (MPa).
- P : Carga constante (N).
- L : Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- b : Ancho de la viga (mm).
- h : Espesor de la viga (mm).

**A1.5** Máxima deformación unitaria de flexión. La máxima deformación unitaria de flexión en una viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La deformación unitaria máxima se calcula:

$$\varepsilon = \frac{6 \delta h}{L^2} \quad 5)$$

donde:

- $\varepsilon$  : Máxima deformación de la viga (mm/mm).
- $\delta$  : Deflexión de la viga (mm).
- $h$  : Espesor de la viga (mm).
- $L$  : Luz (distancia entre apoyos) (mm).

**A1.6** Módulo de Rigidez Lineal Viscoelástico. De acuerdo al principio de correspondencia elástico-viscoelástico, se puede suponer que si una viga lineal viscoelástica es sometida a carga constante aplicada en  $t = 0$ , la distribución de tensión es la misma que en una viga elástica bajo la misma carga. Más aún, las deformaciones y desplazamientos son dependientes del tiempo y se derivan a partir de los mismos en el caso elástico, reemplazando  $E$  por  $1/D(t)$ . Como  $1/D(t)$  es equivalente a  $S(t)$ , acomodando el resultado de la solución elástica, se obtiene la siguiente relación para la rigidez:

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \quad 6)$$

donde:

- $S(t)$  : Rigidez flexural en creep, dependiente del tiempo (MPa).
- $P$  : Carga constante (N).
- $L$  : Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- $b$  : Ancho de la viga (mm).
- $h$  : Espesor de la viga (mm).
- $\delta(t)$  : Deflexión de la viga (mm), y  $\delta(t)$  y  $S(t)$  indican que la deflexión y la rigidez, respetivamente, son funciones del tiempo.

**A1.7** Presentación de la Información.

- a) Grafique la respuesta de la viga de ensaye a la carga constante (creep) como el logaritmo de la rigidez con respecto al logaritmo del tiempo de carga. La Lámina 8.302.25.A1.A muestra una representación típica de los datos del ensaye. Sobre el rango de tiempo de ensaye (de 8 a 240 s), el gráfico de datos mostrado en la Lámina 8.302.25.A1.B se puede representar por un polinomio de segundo orden como sigue:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad 7)$$

y la pendiente del logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, o "valor-m", es igual a (valor absoluto):

$$m(t) = d[\log S(t)] / d[\log(t)] = B + 2C[\log(t)] \quad 8)$$

donde:

- $S(t)$  : Rigidez flexural de creep (MPa). Dependiente de  $t$
- $t$  : Tiempo (s).
- $A, B$  y  $C$  : Coeficientes de regresión.

Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suaves que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el "valor-m". Este puede ser realizado promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura  $\pm 0,1$  y  $\pm 0,2$  s.

- b) Obtenga las constantes  $A, B$  y  $C$  a partir de ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación 7). Use datos igualmente espaciados con respecto al logaritmo del tiempo para determinar los coeficientes de regresión de las ecuaciones 7) y 8). Determine experimentalmente los valores de rigidez usados en la

regresión para derivar los coeficientes A, B y C y, a su vez, calcular los “valores-m” después de los tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s.

**A1.8** Cálculo de los coeficientes de regresión y valores estimados de rigidez y de “valor-m”.

a) Calcule los coeficientes de regresión A, B y C en las ecuaciones 7) y 8) y el denominador D como sigue:

$$A = [S_y(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{xy}(S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{xxy}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)] / D \quad 9)$$

$$B = [6(S_{xy}S_{x4} - S_{xxy}S_{x3}) - S_{x1}(S_yS_{x4} - S_{xxy}S_{x2}) + S_{x2}(S_yS_{x3} - S_{xy}S_{x2})] / D \quad 10)$$

$$C = [6(S_{x2}S_{xxy} - S_{x3}S_{xy}) - S_{x1}(S_{x1}S_{xxy} - S_{x3}S_y) + S_{x2}(S_{x1}S_{xy} - S_{x2}S_y)] / D \quad 11)$$

$$D = 6(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{x1}(S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{x2}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2) \quad 12)$$

en que, para tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, se tiene:

$$\begin{aligned} S_{x1} &= \log 8 + \log 15 + \dots \log 240 &= \Sigma \log ti \\ S_{x2} &= (\log 8)^2 + (\log 15)^2 + \dots (\log 240)^2 &= \Sigma (\log ti)^2 \\ S_{x3} &= (\log 8)^3 + (\log 15)^3 + \dots (\log 240)^3 &= \Sigma (\log ti)^3 \\ S_{x4} &= (\log 8)^4 + (\log 15)^4 + \dots (\log 240)^4 &= \Sigma (\log ti)^4 \\ S_y &= \log S(8) + \log S(15) + \dots \log S(240) &= \Sigma \log(S(ti)) \\ S_{xy} &= \log S(8) \log(8) + \log S(15) \log(15) + \dots \log S(240) \log(240) &= \Sigma (\log S(ti) \times \log ti) \\ S_{xxy} &= (\log 8)^2 \log S(8) + (\log 15)^2 \log S(15) + \dots (\log(240))^2 \log S(240) &= \Sigma [(\log ti)^2 \times \log S(ti)] \end{aligned}$$

b) Calcule la rigidez estimada a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s como:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad 13)$$

c) Calcule el “valor- m” estimado a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, como el valor absoluto de:

$$|m| = B + 2C[\log(t)] \quad 14)$$

d) Calcule la fracción de variación en la rigidez, explicado por el siguiente modelo cuadrático:

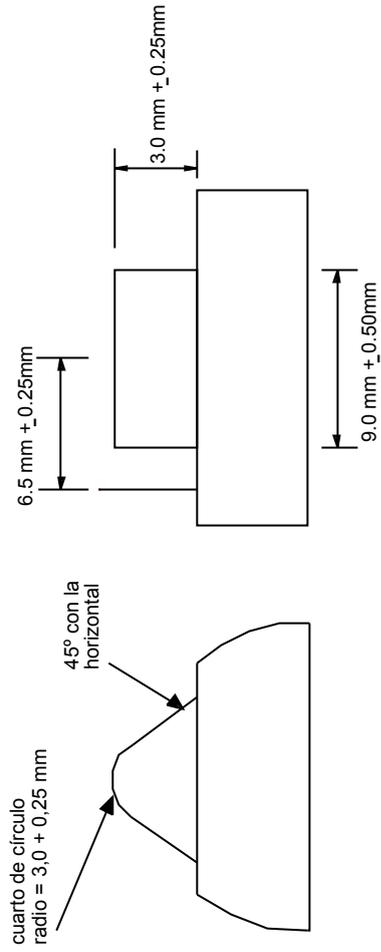
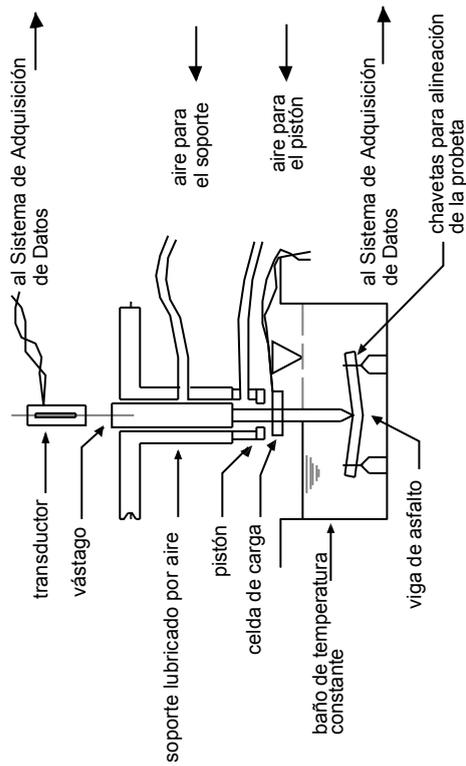
$$R^2 = 1.00 - \frac{[\log S_m(8) - \log S_e(8)]^2 + \dots + [\log S_m(240) - \log S_e(240)]^2}{[\log S_m(8) - \log S'(8)]^2 + \dots + [\log S_m(240) - \log S'(240)]^2} \quad 15)$$

e) Calcule S' como el promedio de los valores de rigidez a 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, como sigue:

$$\log S' = [\log S(8) + \dots \log S(240)] / 6 = \Sigma \log S(ti) / n \quad 16)$$

f) Use los valores estimados de rigidez y valor de m a 60 s para propósitos de especificación. Los valores medidos y estimados de rigidez deberían estar acordes dentro de un 2%. En cualquier otro caso, el ensaye es considerado sospechoso.

REOMETRO DE VIGA  
DE FLEXION



SOPORTES DE LA PROBETA

Secciones Metálicas

B Placa Base 6,35 x 19 x 165 mm

S Placa Lateral 6,35 x 12,7 x 165 mm

E Placa Terminal 6,35 x 12,7 x 19 mm

Láminas Plásticas

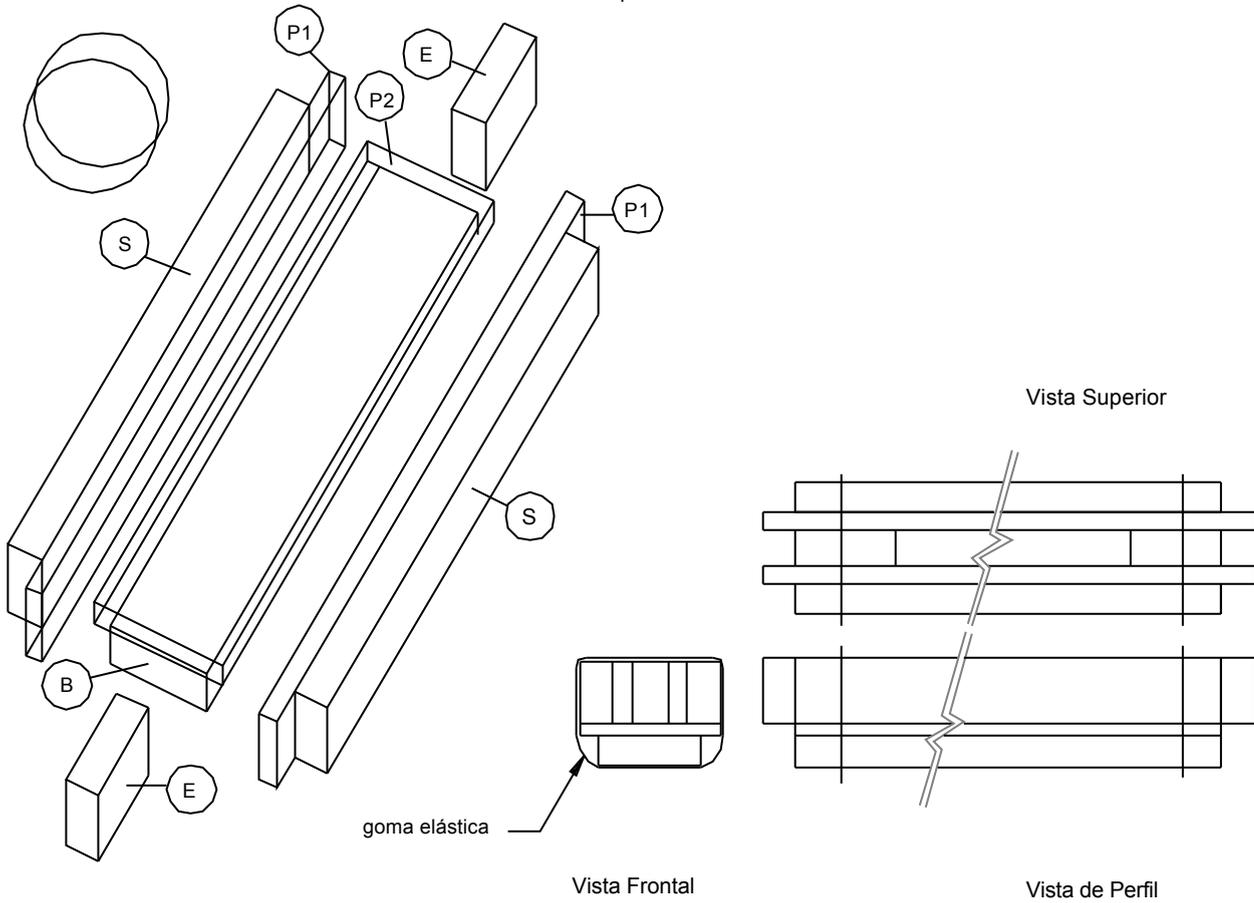
P1 12,7 x 178 mm

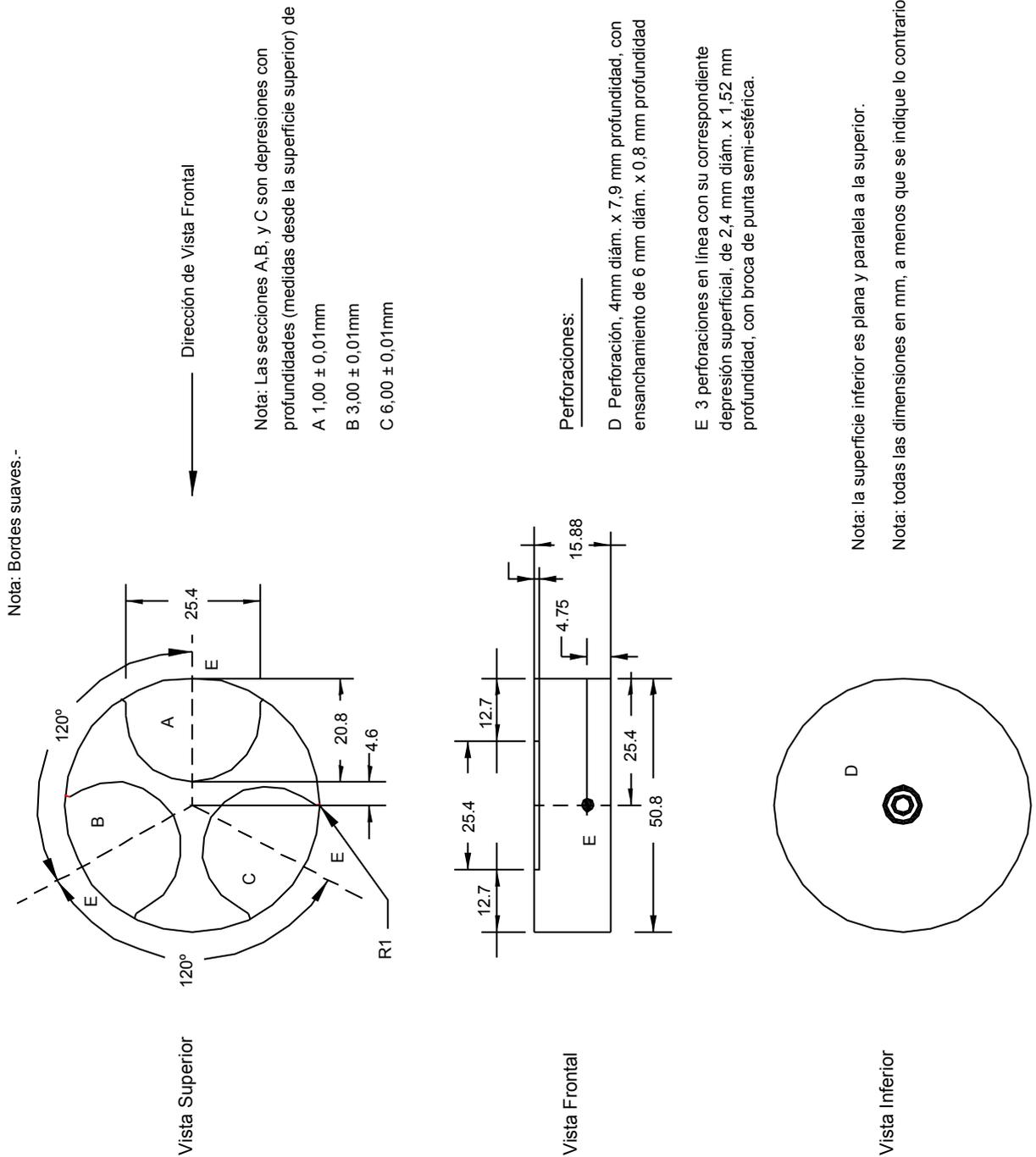
P2 19 x 165 mm

R anillos de goma, diámetro interno: 18mm

Nota: Las dimensiones indicadas son nominales, sin embargo, los requerimientos de la Sección 6.3 prevalecen.

anillos de goma





TEST INFORMATION

Project:	Testing	Target Temp:	23,0 °C	Conf. Test:	2.199c+008
Operator:	Jsy	Actual Temp:	14,8 °C	Date:	09/17/93
Specimen:	plastic beam b	Soak Time:	0,0 sec	Load Const:	0,24
Time:	11:47:03	Beam Width:	12,70 mm	Defl Const:	0,0024
Date:	09/18/93	Thickness:	6,35 mm	Date:	09/17/93
Fiel:	0818934.dat				

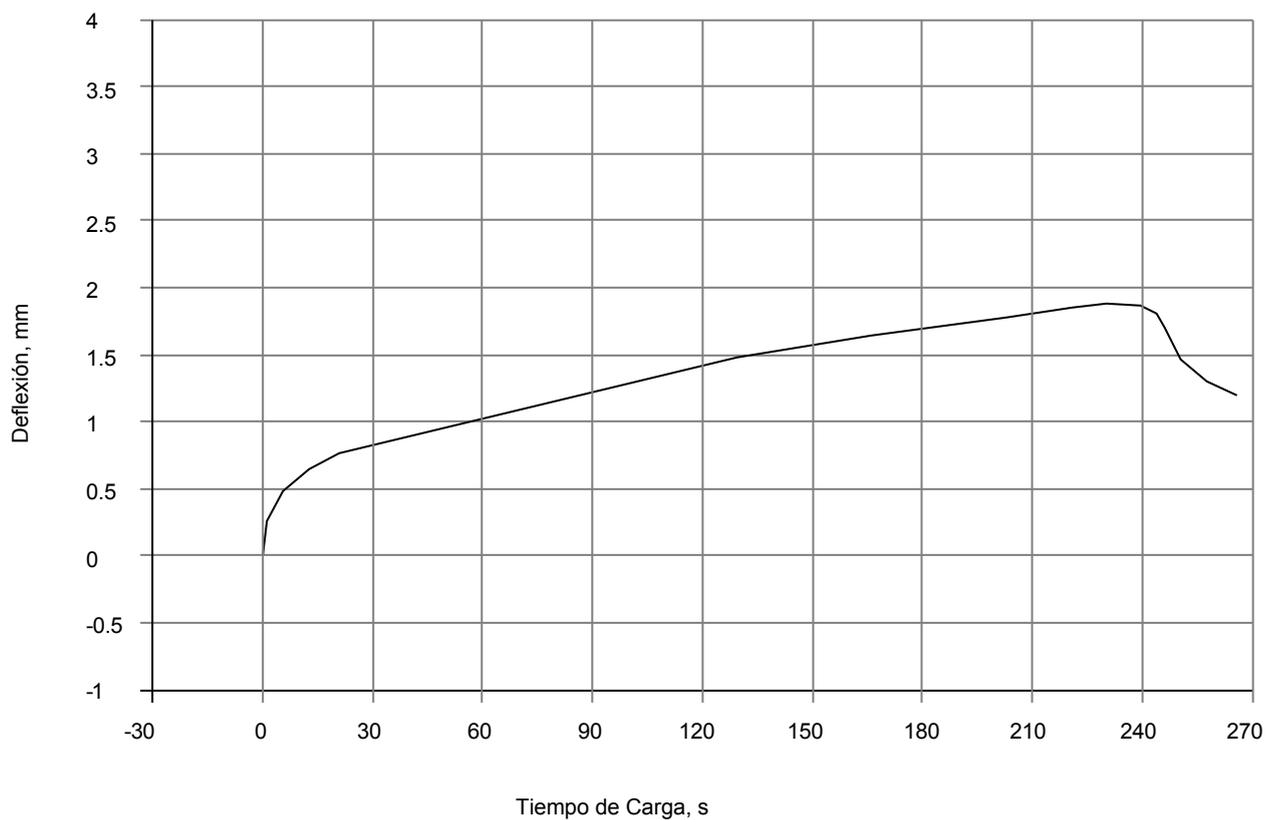
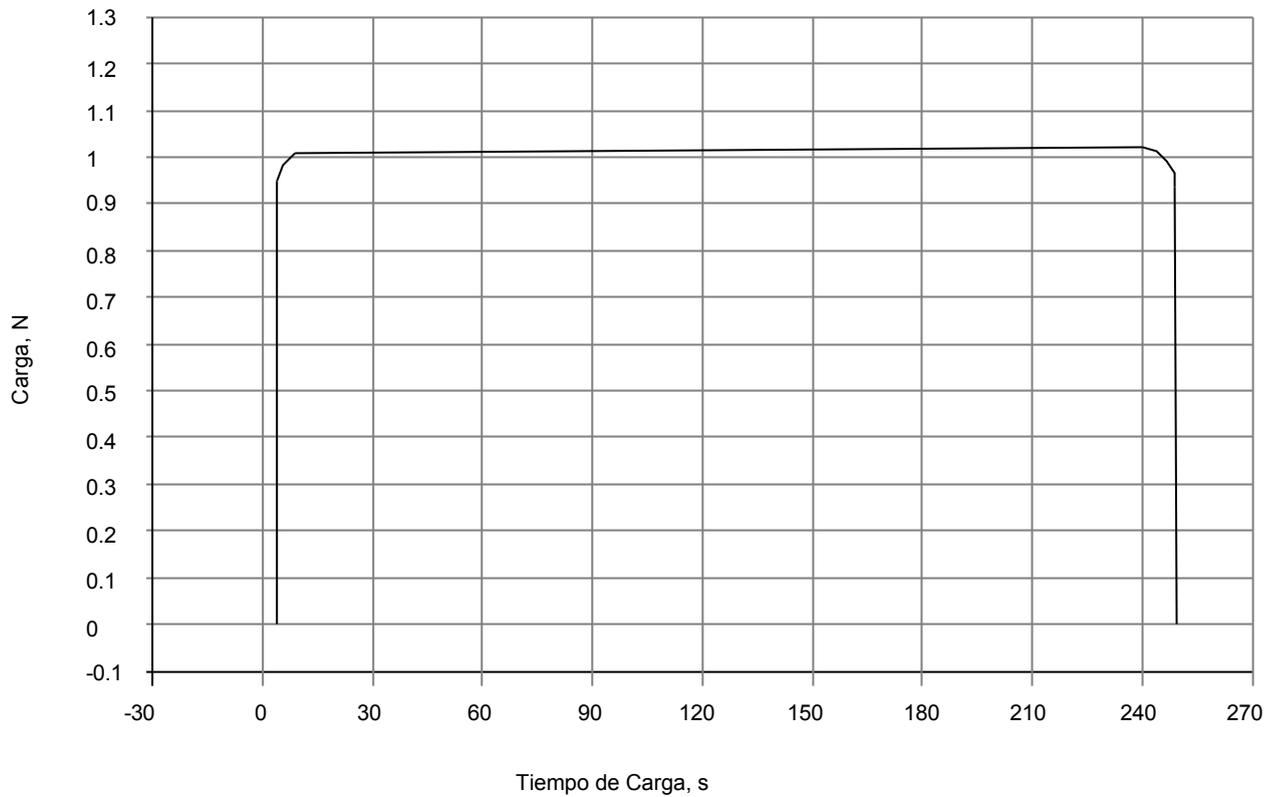
RESULTS

t time (sec)	P Force (N)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (kPa)	Estimated Stiffness (kPa)	Difference %	m-value
8	0,9859	0,9126	87030,0	87060,0	0,03532	0,176
15	0,9894	1,022	77990,0	77930,0	-0,08120	0,175
30	0,9913	1,158	68960,0	68990,0	0,04809	0,175
60	0,9910	1,308	61110,0	61110,0	0,004487	0,174
120	0,9908	1,475	54150,0	54150,0	0,001551	0,174
240	0,9906	1,664	48010,0	48000,0	0,005077	0,174

Regression Coefficients

A = 5,100                      b = -0,1784                      c = 0,001020                      R<sup>2</sup> = 0.999996  
 CANNON BENDING BEAM RHEOMETER                      P to Print - ESC to continue

Dimensiones en milímetros





## **8.302.26 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA DEFORMACION A LA ROTURA EN EL ENSAYE DE TRACCION DIRECTA**

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método sirve para determinar la deformación y tensión de falla de ligantes asfálticos mediante un ensaye de tracción directa. Se puede utilizar para ensayar tanto asfaltos originales como envejecidos, mediante Método 8.302.33 Ensaye de película delgada rotatoria o Método 8.302.23 Superpave de envejecimiento acelerado en cámara a presión. El equipo de ensaye está diseñado para un rango de temperatura de + 6°C a -36°C.

**1.2** Este método no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones mayores a 250 µm.

**1.3** Este método no es válido para asfaltos que exhiban una deformación de falla superior en más de un 10 % del límite del rango considerado frágil-dúctil.

**1.4** Para la evaluación de un ligante asfáltico de acuerdo con la Especificación 8.301.8 Especificaciones Superpave para Ligantes Asfálticos, se usa una tasa de elongación de 1 mm/min a una temperatura de ensaye que corresponde a la indicada en la Tabla 8.301.8.A para el grado asfáltico que corresponda. Es posible usar otras tasas de elongación y temperaturas para ensayar ligantes asfálticos.

**1.5** Este método puede incluir operaciones, equipos y/o materiales peligrosos. En este método no se describen las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento, establecer las medidas de seguridad e higiene apropiadas.

**1.6** Este método se basa en AASHTO TP3-00, Standard Test Method for Determining the Fracture Properties of Asphalt Binder in Direct Tension (DT).

### **2.- Referencias.**

- Método 8.301.8 Asfaltos: especificaciones Superpave.
- Método 8.302.23 Asfaltos: método superpave de envejecimiento acelerado en cámara de presión.
- Método 8.302.1 Asfaltos: métodos de muestreo.
- Método 8.302.33 Asfaltos: método de ensaye de película delgada rotatoria.
- Norma ASTM E1 Especificación para termómetros ASTM.
- Norma ASTM E4 Práctica para verificación de cargas en máquinas de ensaye.
- Norma ASTM E77 Método para verificación e inspección de termómetros.
- Norma ASTM E83 Método de verificación y clasificación de extensómetros.
- Norma DIN 43760 Estándar para calibración de termocoplas.
- Norma ISO 10012-1
- Norma MIL STD-5545

### **3.- Terminología.**

**3.1 Ligante asfáltico.** Cemento asfáltico, producido a partir de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos particulados de tamaño menor a 250 µm.

**3.2 Frágil.** Tipo de falla en un ensaye de tracción directa donde la curva tensión-deformación es esencialmente lineal hasta el punto de falla, la que se produce por ruptura súbita del material sin una reducción apreciable de la sección transversal.

**3.3 Frágil-Dúctil.** Tipo de falla en un ensaye de tracción directa donde la curva tensión-deformación es curvilínea y la falla se produce por ruptura súbita del material. Sólo se produce una pequeña reducción de la sección transversal de la probeta.

**3.4 Dúctil.** Tipo de falla en un ensaye de tracción directa donde el material no llega a la ruptura, sino que falla por fluencia a grandes niveles de deformación.

**3.5 Deformación de Tracción.** Deformación axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, que se calcula como el cambio de la longitud efectiva de la probeta, causada por la aplicación de la carga de tracción, dividida por la longitud efectiva original, antes de aplicar la carga.

**3.6 Tensión de Tracción.** Tensión axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, calculada como la carga de tracción dividida por el área original de la sección transversal de la probeta.

**3.7 Falla.** Punto en el cual la carga de tracción alcanza un valor máximo mientras la probeta es traccionada a velocidad de deformación constante.

**3.8 Tensión de Falla.** Tensión de tracción en la probeta cuando la carga alcanza un valor máximo durante el procedimiento de ensaye.

**3.9 Deformación de Falla.** La deformación de tracción correspondiente a la tensión de falla.

**3.10 Sección Nominal.** Parte central de la probeta en la cual la sección transversal no varía longitudinalmente. Para este ensaye la sección nominal tiene 18 mm de largo (véase Lámina 8.302.26.A).

**3.11 Longitud Corregida Efectiva.** Para las probetas usadas en este ensaye, la longitud corregida efectiva,  $L_e$ , ha sido determinada como 33,8 mm. Esta es una longitud de calibración efectiva, que representa la parte de la probeta que contribuye mayormente a la deformación.

#### 4.- Resumen del Método.

**4.1** Este Método describe el procedimiento usado para medir la tensión y deformación de falla de una probeta de ligante asfáltico sometida a un ensaye de tracción a velocidad de deformación constante. Las probetas se preparan vaciando ligante asfáltico caliente en un molde adecuado. Para traspasar el esfuerzo de tracción desde la máquina de ensaye a la probeta de ligante asfáltico, se usan dos terminales plásticos hechos de polimetilmetacrilato. El asfalto se adhiere fácilmente a este material.

**4.2** Este ensaye fue desarrollado para ligantes asfálticos a temperaturas en las que exhiben falla frágil o frágil-dúctil. Una falla frágil o frágil-dúctil se produce con una fractura en la probeta, por el contrario, en el caso de una falla dúctil la probeta simplemente se alarga sin fracturarse. Este ensaye no es aplicable a temperaturas donde la falla sea por fluencia dúctil.

**4.3** Un transductor de desplazamiento mide la elongación de la probeta al ser tirada en tracción a una tasa constante de 1 mm/min. Se registra la carga desarrollada durante el ensaye cuando la carga alcanza un máximo; la deformación y tensión en la probeta se informan como deformación de falla y tensión de falla respectivamente.

#### 5.- Aparatos.

**5.1 Sistema de Ensaye de Tracción Directa.** El sistema de ensaye de tracción directa consiste en:

- Una máquina de Tracción de carga de desplazamiento controlado.
- Un sistema de sujeción de la probeta.
- Un baño líquido o cámara aislada, que permita un control uniforme, preciso y exacto de la temperatura durante el acondicionamiento y ensaye de la probeta.
- Dispositivos de medición y registro de carga en tiempo real.
- Dispositivos de medición y registro de elongación en tiempo real.
- Dispositivos de medición y registro de temperatura en tiempo real.
- Dispositivos de registro y despliegue de datos en tiempo real.

El sistema tendrá una unidad electromecánica o servo hidráulica capaz de aplicar y medir fuerzas de tracción y compresión de al menos 500 N y 20 mm (0,78 in) de desplazamiento. La rigidez del sistema será de al menos 3 MN/m, incluyendo la celda de carga y las mordazas. La unidad contará con un transductor para medir y controlar la separación de las sujeciones y proveer información para el control de la deformación, con una resolución de desplazamiento de 1,0  $\mu\text{m}$ . El sistema será capaz de controlar la velocidad de elongación con una precisión de al menos un 1 % con respecto a la velocidad de elongación especificada de la probeta, usando la información proveniente de un transductor de desplazamiento montado entre los terminales de carga o de un extensómetro sin contacto que mida la elongación de la probeta.

- a) Máquina de carga de tracción equipada con control de temperatura. Una máquina de carga de tracción con un marco de carga de desplazamiento controlado, capaz de producir al menos 500 N. El marco de carga debe estar montado sobre una mesa. El sistema de sujeción (mordazas y placas) estará sumergido completamente bajo el líquido del baño (si se usa un sistema de baño líquido), a una profundidad mínima 25 mm bajo la superficie del fluido enfriador. La carga se producirá tirando directamente en tracción en el mismo plano de la probeta. La distancia entre los puntos de carga del marco de carga (entre las mordazas de carga) debe permitir acomodar las probetas con un largo total (incluyendo los terminales) de al menos 100 mm, ver Lámina 8.302.26 A. Si se utiliza un sistema enfriado por aire, el marco de carga debe estar equipado con 2 columnas con suficiente espacio como para que la cámara aislada utilizada pueda ser ubicada entre dichas columnas.

- b) Sistema de sujeción de la probeta. El sistema de sujeción debe producir una carga axial auto-alineada. Además, debe permitir la inserción de los terminales de la probeta descritos más abajo, y estar diseñado de tal manera que las probetas puedan ser montadas fácilmente en la máquina. El sistema incluirá 2 mordazas. Cada mordaza debe incluir una chaveta especial que irá montada rigidamente a las platinas de carga de la máquina de ensaye. La Lámina 8.302.26.B muestra la configuración típica de una mordaza y chaveta de carga. Una mordaza debe estar fija y permanecer inmóvil durante el ensaye, mientras que la otra mordaza se desplaza a la tasa de deformación especificada.

Los terminales de la probeta deben ser fabricados en material G-10 fenólico (polimetilmetacrilato), u otro material apropiado, con un coeficiente de expansión térmica lineal similar al asfalto (0,00006 mm/mm/ ° C), y de dimensiones como las que se indican en las Figuras 1, 2 y 3 de la Lámina 8.302.26.C. Deben estar adheridos a ambos extremos de la probeta para transferir la carga de tracción al ligante asfáltico. Cada uno de estos terminales contendrá un agujero preciso trabajado a máquina, alineado con un anillo de acero inoxidable 304. El diámetro del agujero alineado será de  $10 \pm 0,05$  mm. La sujeción de la muestra será efectuada a través de la adhesión entre el ligante asfáltico y el terminal. Cada terminal se montará sobre una chaveta especialmente torneada, la que es parte del sistema de sujeción. La probeta se montará sobre las mordazas, ubicando los terminales en la máquina de ensaye de forma tal que se ajusten sobre las chavetas y queden separadas contra la cara de las mordazas.

- c) Cámara de ensaye para control de temperatura y ensaye. La cámara de control de temperatura tendrá suficiente espacio para almacenar al menos doce probetas. El rango de control de temperatura para la cámara de enfriamiento, sin muestras asfálticas, en todos sus puntos interiores debe ser de +6°C a -36°C, con una estabilidad de temperatura de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  como mínimo. Al colocar una probeta a temperatura ambiente dentro de la cámara de enfriamiento se produce una fluctuación de la temperatura. Esta fluctuación, medida como la diferencia de temperatura entre las mordazas, con respecto a la temperatura especificada de ensaye, debe ser menor que  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Sin embargo, durante el ensaye, el gradiente de temperatura entre las mordazas no excederá  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . La temperatura se medirá mediante un sensor de resistencia térmica (RTD) de platino (calibrado en un rango de 6 a  $-36^\circ\text{C}$ ), ubicado dentro de la cámara en la proximidad del área de ensaye. Si se utiliza un sistema de enfriamiento por aire, se puede usar un enfriador mecánico o nitrógeno líquido para enfriar la cámara. Debe tener un sistema deshumidificador con una capacidad tal que se elimine la formación de escarcha en el interior de la cámara, en la probeta y en cualquier componente del ensaye. La cámara tendrá la capacidad suficiente para almacenar al menos 12 probetas sobre una repisa, la cual debe estar térmicamente aislada de las paredes y piso de la cámara, de manera que el calor conducido desde las paredes y el piso no afecte la temperatura de las probetas. Si se usa un sistema de enfriamiento por aire, la cámara estará equipada con una puerta frontal para la mantención y propósitos de estandarización, además de una puerta de acceso que permita al operador insertar su antebrazo y mano con el fin

de ubicar las probetas sobre la repisa para acondicionamiento o sobre las mordazas para el ensaye. La puerta de acceso estará diseñada para que los cambios de temperatura en la cámara sean de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  cuando el operador coloque y saque sus manos desde la cámara. Debe haber acceso visual al interior de la cámara para permitir el montaje apropiado de las muestras y el monitoreo del ensaye. La deformación de la probeta se mide con un láser óptico. El uso del láser requiere que haya ventanas de vidrio óptico en los dos lados de la cámara de temperatura, de manera que el rayo de láser pueda pasar a través de la cámara sin distorsión del haz.

- d) Si se usa líquido como medio de enfriamiento, se recomienda el uso de una mezcla de 42% de polvo de acetato de potasio y 58 % de agua desionizada (porcentajes en peso). No se deben usar alcoholes, ya que se ha encontrado que fragilizan los ligantes asfálticos, es decir, afectan sus propiedades de falla en presencia de tensión.

**Nota 1:** El acetato de potasio se encuentra disponible comercialmente en forma de una mezcla fluida descongelante, compuesta aproximadamente de un 50% de acetato de potasio y 50% de agua desionizada. Si se usa esta mezcla comercial, la combinación de 42% y 58% mencionada se puede lograr añadiendo a la mezcla agua desionizada o destilada hasta que la densidad obtenida sea de  $1,2375 \pm 0,0025 \text{ g/cm}^3$ . La densidad se puede medir usando un hidrómetro adecuado.

- e) Dispositivos de medición y registro de carga. La carga se medirá con una celda de carga, de 500 N de capacidad mínima y sensibilidad de 0,1 N. La celda de carga deberá ser calibrada al menos una vez al año, de acuerdo a ASTM E4. La carga y deformación serán monitoreadas con el sistema de adquisición de datos, de manera que se puedan registrar con una precisión de 1% respecto de la carga y deformación de falla, respectivamente. Una vez que se inicia el ensaye, el SAD deberá ser capaz de detectar el momento en el cual la carga comienza a cambiar como resultado de la deformación de la probeta. Esto se logra monitoreando la señal de la celda de carga en el tiempo. El instante en que se produce un cambio en la señal de carga equivalente a  $2 \pm 0,3 \text{ N}$  (umbral de carga), indica el tiempo en el que la lectura en el transductor de desplazamiento se hace cero. El Sistema de Adquisición de Datos registra el instante en que se obtiene la máxima carga, y la deformación de falla se calcula como la deformación acumulada desde la lectura cero hasta la elongación correspondiente a dicha carga máxima. Una vez que el ensaye ha finalizado el dispositivo mostrará la deformación de falla. Usualmente, la carga máxima varía de 10 a 250 N, dependiendo de la temperatura de ensaye, grado, envejecimiento y origen del ligante asfáltico. La tensión y la deformación unitaria se mostrarán aproximadas a 0,1.
- f) Dispositivos de medición y registro de elongación. La elongación de la probeta se medirá mediante la separación de las mordazas, con un transductor de desplazamiento. El transductor de desplazamiento será capaz de medir y controlar la separación de las mordazas, y además deberá suministrar la retroalimentación para el control de la tasa de deformación, con una resolución de  $1,0 \mu\text{m}$  de desplazamiento.
- Si el componente de adquisición de datos consiste en un computador personal tipo IBM o compatible, tendrá tres canales A/D; uno para la carga, uno para la elongación y otro para la temperatura. Los datos serán almacenados en formato ASCII.
  - Salida de la curva tensión-deformación. El sistema de registro y despliegue de datos será capaz de mostrar una curva tensión-deformación, en unidades de tensión MPa v/s porcentaje de deformación (eje de abscisas) y MPa (eje de ordenadas). Esto puede llevarse a cabo usando la pantalla de video de la computadora o con un registrador de XY. Si se utiliza un registrador, las unidades pueden estar en volts, pero en este caso, el archivo de ensaye contendrá el factor de calibración en MPa/volts y % de def/volt, para ambos ejes.

**5.2 Moldes.** Fabricados en aluminio, con las dimensiones especificadas en la Lámina 8.302.26.D. Para prevenir que el asfalto se adhiera a los elementos del molde se requiere un agente desmoldante para las paredes del molde, y un papel revestido de teflón para la base del molde, tal como se describe en 6.2 y 6.3.

**5.3 Placas para Almacenamiento de las Probetas.** Cuando se usa un sistema enfriado por aire, se requieren planchas de teflón u otro plástico, para transferir y almacenar las probetas de ensaye a la cámara enfriada por aire.

**5.4 Termómetro Calibrado.** Un termómetro de mercurio, de rango adecuado y con subdivisiones de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , para verificar el transductor de temperatura. El termómetro debe estar calibrado según ASTM E77. Un termómetro ASTM 62C es adecuado.

**5.5 Congelador.** Capaz de mantener una temperatura de  $-15 \pm 5^\circ \text{C}$ . El congelador sólo se requiere cuando se usa un sistema de enfriamiento por aire.

**5.6 Horno.** Un horno de tiro forzado, capaz de alcanzar y mantener una temperatura de  $160 \pm 5^\circ \text{C}$  para el calentamiento de la muestra de asfalto.

## 6.- Materiales.

**6.1 Fluido para el Baño Líquido.** Requerido para el control de temperatura en sistemas equipados con baño líquido de enfriamiento. Se requiere una mezcla acuosa de 42% en peso de acetato de potasio en polvo y 58 % de agua desionizada. Los alcoholes no están permitidos pues afectan las propiedades de falla de todos los asfaltos.

**6.2 Agente Desmoldante.** Mezcla de 20 g de glicerina y 20 g de talco, para lubricar las paredes de los moldes de aluminio y facilitar el desmolde de la probeta.

**6.3 Papel de Desmolde.** Un papel revestido con teflón por ambos lados. El espesor mínimo de revestimiento debe ser de 0,3 micrones.

**6.4 Solvente.** Solvente mineral o desgrasante en un rociador, formulado para limpieza de asfalto, para limpiar los moldes, terminales y placas.

**6.5 Paños.** Paños de algodón para secar los moldes, terminales y planchas (huaipe).

**Medidas de Seguridad.** Observe procedimientos de seguridad normales de laboratorio cuando maneje ligantes asfálticos calientes y al preparar muestra para ensayos y procedimientos de seguridad cuando se limpie con desgrasantes.

## 7.- Calibración y Estandarización.

**7.1** Verificar la calibración del transductor de desplazamiento, celda de carga y transductor de temperatura (Nota 2)

**Nota 2:** La calibración, en general, es realizada por un servicio de calibración externo. La verificación de la calibración, la estandarización del sistema, y los controles de calidad, pueden ser realizados por el fabricante, otros servicios externos o por personal del laboratorio, de acuerdo a los procedimientos descritos a continuación.

**7.2** Verificación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento. Para verificar la operación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento se usará una columna especialmente diseñada. La columna de verificación tendrá un coeficiente de balasto de aproximadamente 135 N/mm y será capaz de resistir una carga de 500 N sin dañarse. La columna de verificación será suministrada por el fabricante del sistema de tracción directa, con sus características de tensión-deformación. El fabricante entregará un certificado con cada columna de verificación, lo cual garantiza el seguimiento del equipo usado para determinar las características tensión-deformación de la columna. Verifique la calibración de la celda de carga y el transductor de desplazamiento al menos cada seis meses, y cuando las mediciones sean dudosas.

**7.3** Verificación de la tasa de deformación. La tasa de deformación debe ser verificada usando la columna de verificación descrita en 7.1. Para realizar la verificación, grafique la tasa de deformación en función del tiempo transcurrido. El gráfico resultante deberá ser una línea recta con pendiente de 1,00 mm/min.

**Nota 3:** La medición debe hacerse a  $-18^\circ \text{C}$ . Espere 10 min para que la columna de verificación alcance el equilibrio térmico.

**7.4** Detector de temperatura. El detector de temperatura debe ser calibrado como mínimo una vez al año o con mayor frecuencia si se cree que el equipo pueda estar fuera de calibración. La temperatura debe ser

calibrada mediante un dispositivo NIST trazable, cuyo error sea menor que 1/3 de la tolerancia requerida en la medición, de acuerdo a ISO 10012-1, par. 4.3. Para el control de temperatura de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , el error máximo del dispositivo de calibración será  $\pm 0,033^{\circ}\text{C}$ . La temperatura debe ser calibrada para cada temperatura de ensaye utilizada. Coloque el dispositivo de calibración de temperatura en la cámara de ambiente controlado y mantenga el RTD en contacto íntimo con el dispositivo. Cuando el dispositivo y el aparato de verificación de temperatura hayan alcanzado el equilibrio, compare la lectura de temperatura indicada por el RTD y la temperatura observada en el dispositivo de calibración. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con el dispositivo de calibración dentro de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ , aplique una corrección apropiada a la medición de temperatura indicada por el detector, o de lo contrario realice una calibración o mantención mayor.

## 8.- Preparación de Muestras y Probetas de Ensaye.

**8.1** Preparación de muestras de ensaye. Si se va a ensayar asfalto original, obtenga las muestras de acuerdo al Método 8.302.1. Caliente el ligante asfáltico del cual se obtendrá la probeta hasta que esté suficientemente fluido. Este calentamiento remueve las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente.

**Nota 4:** Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a  $135^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre  $135^{\circ}\text{C}$ .

**8.2** Cubra las superficies de las dos paredes laterales del molde con el agente desmoldante. Aplique el desmoldante de forma que produzca una capa delgada y uniforme sobre la superficie del metal, de modo que ninguna parte del metal quede expuesta. Coloque una lamina precortada de papel de desmolde sobre la placa base del molde. Deslice una plancha lateral sobre la placa base (sobre el papel de desmolde). Coloque los terminales dentro de ambos extremos del molde. Deslice la otra plancha lateral sobre la placa base para completar el ensamblaje del molde. Coloque los moldes y los terminales ensamblados en el mismo horno usado para calentar el ligante, es decir, a la misma temperatura por no más de 3 min. Si son dejados en el horno por más de 3 min, se afectarán las propiedades desmoldantes de la mezcla glicerina-talco.

**8.3** Retire el molde del horno y colóquelo sobre una superficie plana. Vierta el ligante asfáltico caliente dentro del molde, partiendo desde un extremo de la cavidad y moviéndose hacia el otro extremo, en un sólo paso. Vierta el asfalto en un chorro continuo para evitar la entrada de burbujas de aire o vacíos. Complete la operación de vertido tan rápidamente como sea posible para evitar cualquier caída excesiva de temperatura en el ligante. Detenga el vertido cuando el asfalto esté ligeramente sobre el borde superior de las paredes del molde.

**8.4** Una vez vertido el asfalto, enfríe el molde y el asfalto a temperatura ambiente por 30 a 60 min. No enfríe rápidamente la probeta intentando alcanzar la temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$  o menor).

**8.5** Tan pronto como la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente, enrase la probeta y retire el exceso de ligante con una espátula (o similar) caliente, a  $165^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, de modo que el ligante quede al mismo nivel con el borde superior del molde. Sea cuidadoso durante esta operación, para que el ligante no sea forzado fuera del molde y evitar así, que la unión entre el ligante y los terminales no se dañe. Enrase la probeta de una manera consistente. Pase la espátula o cuchillo caliente a lo largo del eje de la muestra en forma pareja, a ras con la superficie del molde, para remover el exceso de ligante. Después remueva todos los restos de ligante desde los agujeros o las ranuras de los terminales. Una vez enrasada, deje enfriar la probeta a temperatura ambiente por 10 a 15 min.

**8.6** Previo al desmolde de las probetas, coloque 2 planchas laterales de un molde de aluminio sin uso (Lámina 8.302.26.D) dentro del baño enfriador o cámara de aire y deje enfriar hasta la temperatura de ensaye. Use estas planchas laterales como portadores para transferir la probeta de ensaye hasta el baño o cámara. Además, prepare una placa base para transferir las probetas, de la siguiente manera: coloque una placa base sin usar (Lámina 8.302.26.D), invertida sobre la plataforma de trabajo, a fin de formar una placa de transferencia. Coloque dos papeles de desmolde de modo que se traslapen a lo largo y que cubran la

superficie de la placa de transferencia. Ahora desmolde la probeta, deslizándola suavemente junto a las dos planchas laterales del molde, hacía una orilla de la placa base, hasta que la plancha lateral más próxima a la orilla esté cruzada a la mitad de dicha orilla. Gire la plancha lateral sobresaliente hacia abajo, usando una presión suave y desmolde ese lado. Coloque la plancha recién liberada nuevamente en su lugar, y ahora deslice la probeta y las dos planchas laterales (una aún adherida y la otra desmoldada pero reensamblada) hacía la orilla opuesta y repita el procedimiento de desmolde indicado arriba. A continuación repita el procedimiento de desmolde con la diferencia que ahora se remueve completamente la plancha lateral, y se monta suavemente una de las planchas laterales enfriadas en la cámara o en el baño, a ese lado de la probeta. Ahora desmolde la otra plancha lateral, reemplazándola por aquella enfriada en la cámara de aire o baño líquido. En este punto, la muestra y el molde estarán ensamblados deben verse exactamente como la muestra enrasada antes de desmoldar, excepto que las dos planchas laterales han sido reemplazadas por planchas frías (ambientadas en la cámara o baño de ensaye). Ahora invierta la probeta fría, ensamblada con el molde, tomando el molde por el centro entre el pulgar y el dedo índice de cada mano. Coloque el molde ensamblado invertido sobre la placa de transferencia, de modo que se forme una cruz, es decir, el molde ensamblado debe quedar perpendicular a la placa base de transferencia, cubierta con papeles de desmolde. Suavemente, remueva la placa base de la probeta invertida, deslizándola y descansando sobre la placa de transferencia. El papel de desmolde del fondo de la probeta debería quedar expuesto. Sostenga las dos planchas laterales con el fin de asegurar la probeta mientras se remueve suavemente el papel desmoldante. Transporte la placa base de transferencia, con la probeta invertida pero expuesta, hasta la cámara o baño de ensaye. Inmediatamente coloque la probeta (a lo largo, con las dos planchas laterales frías) dentro del baño enfriador o la cámara, sobre una de las bandejas. Remueva las dos planchas laterales después de un período de 2 min de enfriamiento. Algunos asfaltos más blandos pueden requerir más de 2 min de enfriamiento antes de remover las planchas laterales. Ahora suelte la probeta recién liberada en el baño de ensaye o en la cámara, de modo que la cara enrasada quede hacia arriba. Siempre se debe ensayar las probetas con la cara de enrasado hacia arriba. La placa base de transferencia, cubierta con los papeles de teflón, nunca debiera ser puesta en el baño. No es necesario medir las dimensiones de la probeta después de desmoldar, ya que las tolerancias dimensionales son controladas en el proceso de moldeo.

**Nota 5:** Minimice la distorsión de la probeta durante el desmolde. La variabilidad en las propiedades de falla se incrementan si se ensayan probetas distorsionadas (ya sea doblado a lo largo del eje de carga o perpendicular al mismo). Una probeta distorsionada produce valores de falla menores.

## 9.- Acondicionamiento de la Probeta.

**9.1** Ajuste el baño enfriador a la temperatura de ensaye deseada y espere hasta que se estabilice dentro de  $\pm 0,1^\circ$  C de dicha temperatura. Cuando se ensaye de acuerdo con la Especificación 8.301.8, use las temperaturas de ensaye especificadas en Tabla 8.301.8.A.

**9.2** Acondicione las probetas en el baño enfriador o cámara a la temperatura de ensaye por  $60 \pm 10$  min. Planifique los tiempos de cada actividad, para evitar variabilidad en el ensaye debido al endurecimiento físico.

## 10.- Procedimiento de Ensaye Para Sistemas con Enfriador Basado en Baño de Fluido.

**10.1** Usando pinzas de goma punteadas, monte la probeta sobre el marco de carga haciendo calzar los orificios de los terminales en las chavetas de carga del marco de carga. Si los orificios no encajan con las chavetas, monte una de las chavetas con un extremo de la muestra y ajuste el marco de carga manualmente hasta que el otro extremo de la probeta calce dentro de su lugar como es debido. Verifique el asentamiento de la probeta moviendo las pinzas suavemente sobre los terminales en cada uno de los extremos de la muestra.

**10.2** Una vez que la probeta se encuentre sobre las chavetas de carga, elimine la holgura entre la probeta y las chavetas de carga. Idealmente, la holgura debiera ser eliminada automáticamente ajustando el software de ensaye al monitorear la carga. Inicializar la deformación y empezar el ensaye cuando la carga alcance un valor de  $2 \pm 0,3$  N. Si tal control de software no está disponible, o si se usa el ajuste vertical de ensaye de una cámara enfriadora, se debe eliminar la holgura manualmente, manipulando el control de

ajuste fino. Ajustar hasta que se produzca una carga de  $2 \pm 0,3$  N. Una vez llevado a cabo, verifique nuevamente los ajustes de la probeta con las pinzas para evitar cualquier lectura errónea de carga. Repita el procedimiento de carga manual descrito arriba hasta que una carga de  $2 \pm 0,3$  N sea obtenida nuevamente. Ahora ponga en cero la deformación rápidamente y presione la tecla inicio para comenzar el ensaye. Si la holgura es eliminada automáticamente por el software de control del ensaye, el ensaye se reinicia automáticamente después de la puesta a cero de la deformación por parte del software. En este caso, no se requiere la pulsación manual de la tecla de inicio.

**10.3** Ajuste la tasa de deformación a una rapidez de 3%/min (para permitir una tasa de elongación de 1 mm/min), si es que el software no la tiene pre-ajustada.

## **11.- Procedimiento de Ensaye Para Sistemas con Enfriamiento por Aire Forzado.**

**11.1** Después de  $60 \pm 10$  min, monte la probeta sobre las chavetas usando la puerta de acceso manual de la cámara, de tal manera que la cara posterior del terminal esté centrada sobre la chaveta de montaje. No abra la puerta de la cámara para manipular o montar la probeta, ya que esto produce excesivas fluctuaciones de temperatura, lo cual retrasa la estabilización y afecta la variabilidad térmica histórica. Manipule las probetas con guantes quirúrgicos para proteger los dedos del operador y minimizar el calentamiento de la probeta. Manipule la probeta tocando sólo los terminales, sin tocar el ligante asfáltico.

**Nota 6:** Corrientes de aire de los ventiladores de circulación pueden causar que los terminales se muevan después de haber sido colocados sobre las chavetas de montaje. Una goma de silicona o un disco de espuma, flexible a la temperatura de ensaye, ayudará a fijar el terminal contra la cara de la mordaza. Es importante que el terminal esté centrado en la chaveta (parejo contra la cara de la mordaza) para que así la carga sea aplicada axialmente en el centro de la probeta. Se puede cortar un disco de goma siliconada, utilizando un perforador de corcho. El disco debe tener entre 5 y 10 mm de espesor, con un diámetro exterior de aproximadamente 10 mm. El diámetro interior del disco debe ser suficiente para proveer un contacto sobre una porción de 5 mm de la chaveta. El disco debe deslizar fácilmente sobre la chaveta, entregando sólo la fuerza necesaria para sujetar el terminal en su lugar durante el ensaye.

**11.2** Procedimiento de Carga. Aplique una precarga a la probeta de ensaye, montándola como se describió previamente y aplicando una elongación suficiente para desarrollar una carga de 1 a 2 N; esto puede reducir la variabilidad del ensaye. Tan pronto se alcance la carga de 1 a 2 N, detenga el movimiento de la platina y permita el relajo de la carga hasta que no se aprecie. El tiempo requerido para relajar la carga dependerá de la rigidez de la probeta. Una vez que la carga ha sido liberada, continúe el ensaye como se describe en la siguiente sección.

**11.3** Seleccione la velocidad de deformación deseada y cargue la probeta hasta la falla. Seleccione una tasa de deformación que entregue una velocidad de elongación de la sección medida efectiva de  $1,00 \pm 0,01$  mm/min, cuando se ensaya de acuerdo con el Tópico 8.301.8 de este Volumen. Si una probeta falla fuera del área efectiva de la muestra (de cuello a cuello), descarte el ensaye.

**12.- Número de Repeticiones.** Se debe ensayar un total de seis probetas. La tensión y la deformación de falla son inherentemente variables para los ligantes asfálticos. El ensaye de múltiples probetas puede producir diferencias obvias. Para las seis probetas ensayadas, descarte los dos valores más bajos de tensión y deformación de falla y energía, y recalcule el promedio y desviación estándar para los cuatro valores de falla restantes.

## **13.- Identificación de Falla.**

**13.1** La deformación de falla es fácilmente identificable como la deformación para la máxima carga cuando la falla es por fractura (quiebre de la pieza en dos). Sin embargo, cuando la probeta no se fractura pero alcanza una tensión máxima y fluye sin fracturarse, la deformación de falla se considera como aquella correspondiente a la tensión máxima. No continúe el ensaye más allá de 10% de deformación y simplemente registre la deformación de falla como mayor que 10%. Si el ligante puede alargarse 10% sin fractura, cumple los requerimientos de la Especificación 8.301.8 a la temperatura de ensaye.

**13.2** Si la probeta falla en la sección del cuello, se registra la falla pero además se anota que falló en esa sección. Aunque la falla es aceptable en toda la sección de ensaye (los 18 mm donde la sección transversal es constante), idealmente la falla debiera ocurrir en el centro de cada probeta. La localización de la falla y la consistencia en la repetibilidad de los datos de falla está directamente relacionada con el cuidado con que se preparan las probetas y cómo se montan previo al ensaye.

**14.- Limpieza de los Terminales.** Si los terminales se reutilizarán, después del ensaye elimine el asfalto ya ensayado y limpie los terminales con solvente y frotándolos con un paño suave. Después de frotar, use una solución de jabón detergente para remover cualquier partícula de aceite o residuo dejado por el solvente. Alternativamente, use un desgrasante en rociador. Limpie los terminales completamente. Cualquier película de grasa que permanezca sobre el área de unión puede crear una debilidad que cause fallas en la misma.

#### 15.- Cálculos.

**15.1** Calcule la tensión de falla dividiendo la carga de falla por el área original de la sección transversal de la probeta de ensaye (6 por 6 mm) como se muestra en la ecuación 1):

$$\sigma_f = P_f / A \quad 1)$$

donde:

- $\sigma_f$  : Tensión de falla (MPa).
- $P_f$  : Carga de falla (N).
- $A$  : Área original de la sección transversal (m<sup>2</sup>).

**Nota 7:** Para las probetas usadas en este ensaye,  $A = 36 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ .

**15.2** Calcule la deformación unitaria de falla dividiendo la elongación por el largo original, como se muestra en la ecuación 2):

$$\varepsilon_f = \delta_f / L_e \quad 2)$$

donde:

- $\varepsilon_f$  : Deformación de falla (mm / mm).
- $\delta_f$  : Elongación de falla (mm).
- $L_e$  : Largo efectivo (mm).

**Nota 8:** Para las probetas usadas en este ensaye,  $L_e$  ha sido determinado en 33,8 mm.

**16.- Informe.** Reporte la siguiente información en el informe:

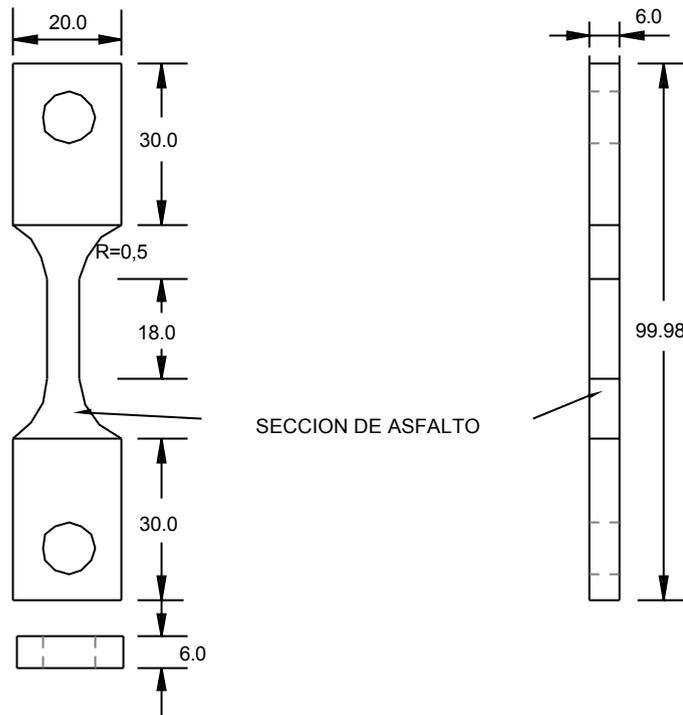
- a) Identificación de la muestra.
- b) Fecha y hora del ensaye.
- c) Temperatura de ensaye, aproximada a 0,1° C.
- d) Tasa de deformación, aproximada a 0,01 mm/min.
- e) Deformación unitaria de falla, aproximada a 0,01 %.
- f) Tensión de falla, aproximada a 0,01 Mpa.
- g) Carga máxima aproximada a 1,0 N
- h) Tipo de fractura observada (fractura o no fractura)

#### 17.- Precisión y Sesgo

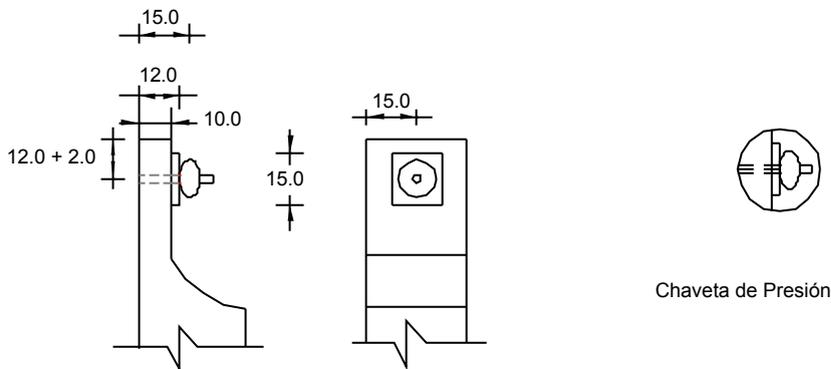
**17.1 Precisión.** La investigación requerida para desarrollar una estimación de precisión para este método de ensaye no se ha realizado.

**17.2 Sesgo.** La investigación requerida para establecer el sesgo de este método no se ha realizado.

Probeta de Ligante Asfáltico



Mordazas de Ensamble



Nota:

Mordaza típica, mostrando la chaveta de presión. Se requieren dos mordazas

Notas:

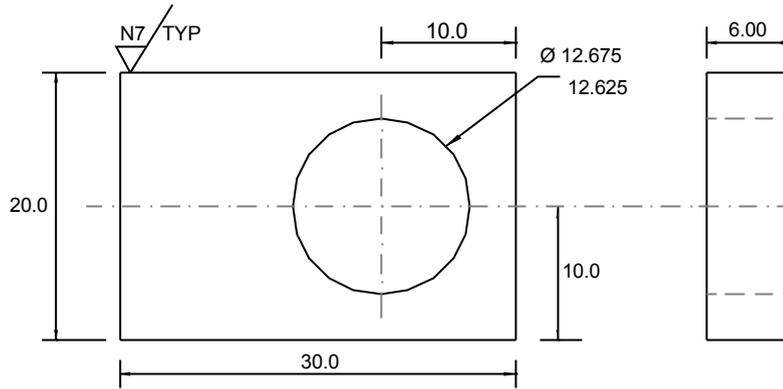
1. Todas las dimensiones en mm.
2. Tolerancias: fracc. =  $\pm 1,6$   
 $x.x = \pm 0,8$   
 $x.xx = \pm 0,25$   
 $x.xxx = \pm 0,15$   
ángulos =  $\pm 30^\circ$

3. Pulir todos los cantos

4. Acabado Superficial para superficies maquinadas:

$\sqrt{125}$  a menos que se especifique otra cosa.

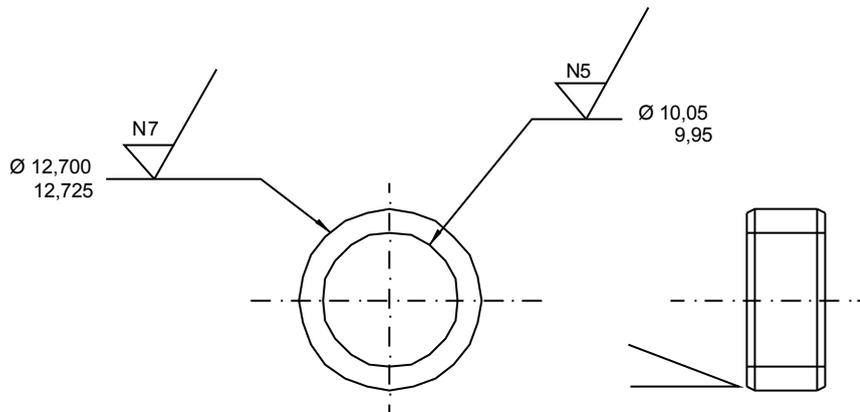
$\sqrt{125}$  Representa el valor medio o la clase de rugosidad en micrones.



NOTAS:

1. MATERIAL: G-10 FENOLICO
2. VER ESQUEMA DE ANILLO METALICO Y DEL ENSAMBLE ENTRE AMBOS

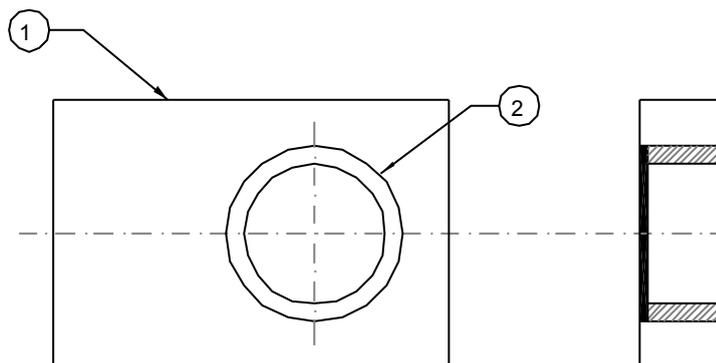
FIG. 1 TERMINALES DE ANILLOS METALICOS



NOTAS:

1. MATERIAL: ACERO INOXIDABLE TIPO 316 o 304, PUEDE SER HECHO 1/4" SCHEDULE 40 SEAMLES PIPE

FIG. 2 ANILLO Y TERMINAL

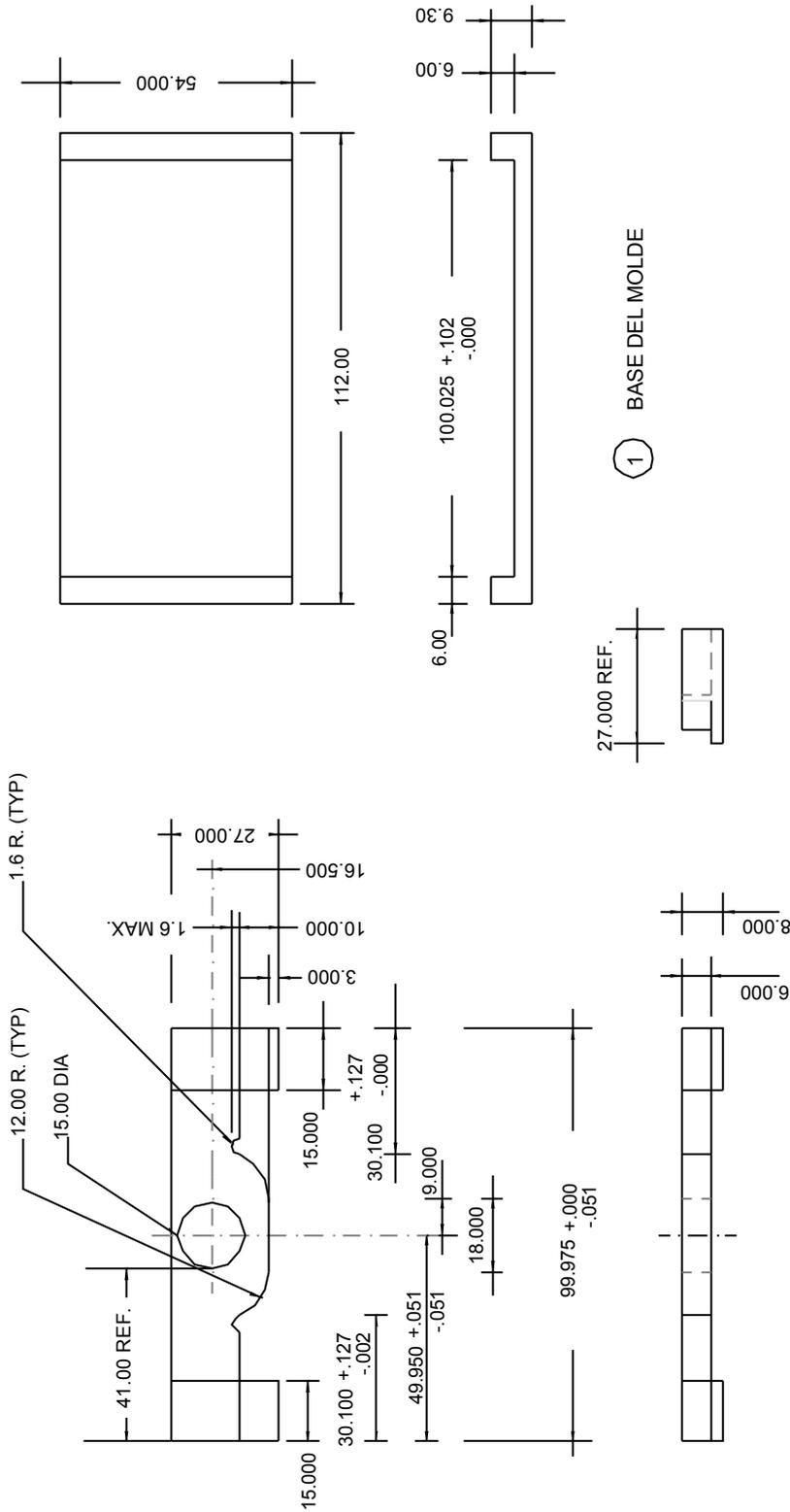


PRESIONAR EL ANILLO DENTRO DEL AGUJERO DE MODO QUE QUEDE A RAS O UN POCO MAS ADENTRO QUE LA SUPERFICIE DEL TERMINAL, A CADA LADO DEL ANILLO.-

Notas:

1. Todas las dimensiones en mm.
2. Tolerancias: fracc. =  $\pm 1,6$   
 $x.x = \pm 0,8$   
 $x.xx = \pm 0,25$   
 $x.xxx = \pm 0,15$   
 $\text{ángulos} = \pm 30^\circ$
3. Pulir todos los cantos
4. Acabado Superficial para superficies maquinadas:  
 $\sqrt{125}$  a menos que se especifique otra cosa.  
 $\sqrt{125}$  Representa el valor medio o la clase de rugosidad en micrones.

FIG. 3 TERMINAL ASSY



Notas:

1. Todas las dimensiones en mm.

2. Tolerancias: fracc. = ± 1,6

x.x = ± 0,8

x.xx = ± 0,25

x.xxx = ± 0,15

ángulos = ± 30°

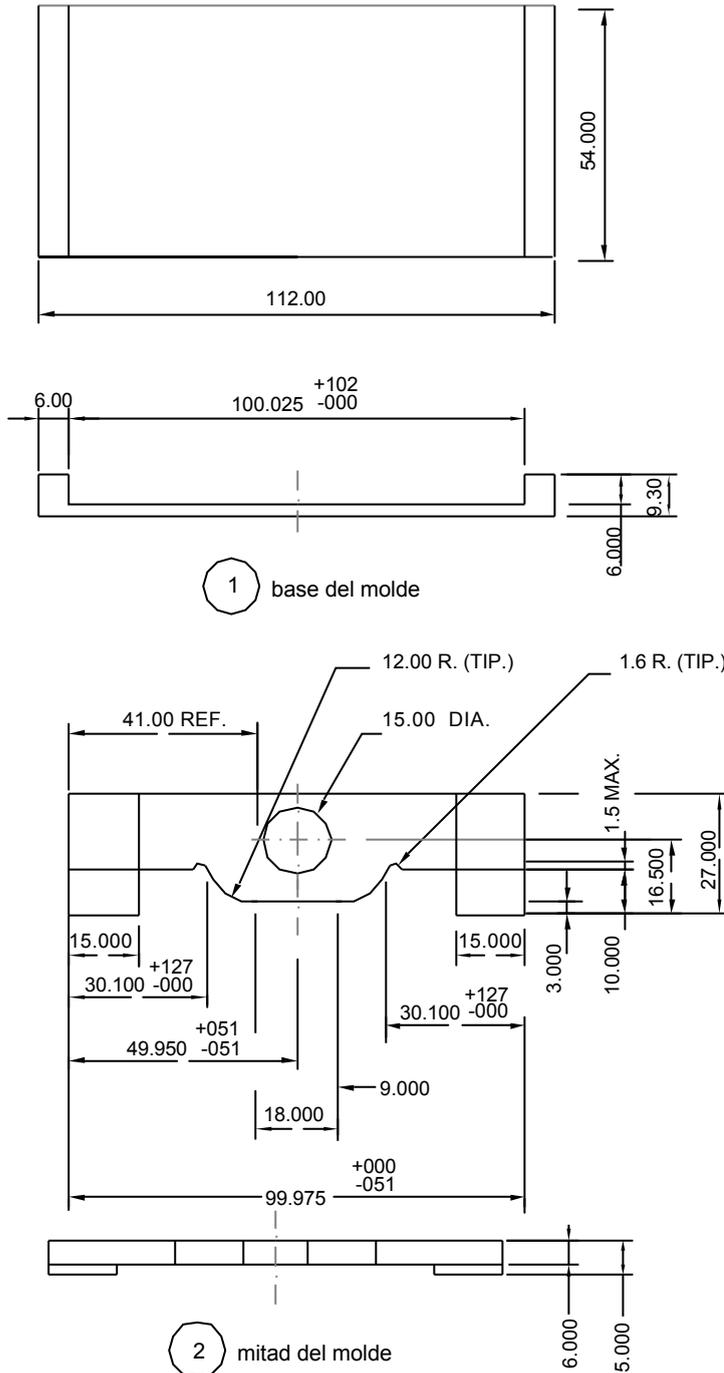
3. Pujir todos los cantos

4. Acabado Superficial para superficies maquinadas:

125<sup>√</sup> a menos que se especifique otra cosa.

125<sup>√</sup> Representa el valor medio o la clase de rugosidad en micrones.

FIG. MOLDES DE TRACCION DIRECTA



Notas:

1. todas las dimensiones en mm.
2. tolerancias: fracc. =  $\pm 1,6$   
 $x,x = \pm 0,8$   
 $x,xx = \pm 0,25$   
 $x,xxx = \pm 0,15$   
 ángulos =  $\pm 30^\circ$

3. pulir todos los cantos.

4. Acabado Superficial para superficies maquinadas:

$\sqrt{125}$  a menos que se especifique otra cosa.

$\sqrt{125}$  Representa el valor medio o la clase de rugosidad en micrones.



### 8.302.27 ASFALTOS: METODO DE MUESTREO DE MEZCLAS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento para muestrear mezclas de materiales asfálticos con agregado mineral usadas en pavimentos. Las muestras pueden usarse para cualquiera de los dos siguientes propósitos:

- Representar un promedio de la mezcla bituminosa
- Determinar la variación periódica en las características de la mezcla con el propósito de controlar uniformidad.

#### 2.- Selección de la Muestra.

**2.1** El muestreo es tan importante como el ensaye mismo. En consecuencia, el Laboratorista deberá tomar las precauciones necesarias para obtener muestras verdaderamente representativas de la mezcla bituminosa.

**2.2** Al muestrear se debe evitar la segregación del agregado grueso y el mortero bituminoso. También se debe tener cuidado para prevenir la contaminación con polvo u otra materia extraña.

**3.- Tamaño de la Muestra.** El tamaño de la muestra está determinado por el tamaño máximo de las partículas de agregado en la mezcla. El tamaño mínimo de la muestra deberá estar de acuerdo con los requisitos de la Tabla 8.302.27.A.

**TABLA 8.302.27.A  
TAMAÑO DE LA MUESTRA BITUMINOSA**

Tamaño máximo Nominal del agregado (mm)	Mezcla a granel (kg)	Area mezcla extendida (cm x cm)
2,5	2	15 x 15
5	2	15 x 15
10	4	15 x 15
12,5	6	20 x 20
20	8	25 x 25
25	10	30 x 30
40	12	30 x 30

#### 4.- Muestreo en Plantas en el Lugar de Fabricación.

**4.1** Descargue una cachada de la mezcla fresca formando un pequeño acopio, que se corta de un extremo a otro y reduce al tamaño deseado, remezclando y cuarteando. Si requiere una muestra que represente más de una cachada, debe tomar muestras a intervalos regulares de acuerdo con el procedimiento antes descrito. Cuando haya muestreado la producción suficiente, todo lo extraído debe reducirse al tamaño deseado, mezclando y cuarteando en una superficie limpia y lisa. La muestra no podrá representar más de un día de trabajo.

Si es necesario, la mezcla puede calentarse para facilitar el remezclado, pero sólo hasta una temperatura en que la mezcla resulte manipulable. Si las distintas muestras se toman con el objeto de determinar la uniformidad de la producción de la planta, no deben mezclarse y se ensayan separadamente.

**4.2** Obtenga muestras de los acopios sacando iguales cantidades de mezcla, excavando en la parte superior, media e inferior del acopio; luego readecue la muestra al tamaño requerido como se describió en 4.1.

**5.- Muestreo desde la Capa.** Puede tomar muestras desde la capa, aún sin compactar, cuando se desea complementar los controles de la Planta.

Si desea conocer otras características de la mezcla, que dependan de la compactación de ésta, proceda a extraer testigos del pavimento terminado. Estos testigos deben cortarse de modo que no ocasionen distorsión en la mezcla y abarquen todo el espesor de la capa colocada.

**6.- Muestreo de Mezclas Confeccionadas en Sitio.**

**6.1** Las muestras de mezclas confeccionadas en sitio se toman con el propósito de determinar tanto las propiedades físicas de la mezcla, el contenido de ligante asfáltico, como la uniformidad del contenido de ligante asfáltico.

**6.2** Si el muestreo es en cordones, corte el cordón de un lado a otro en todo su espesor, evitando la contaminación y luego reduzca al tamaño deseado, mezclando y cuarteando. Tome una muestra cada 70 m y ensaye en forma separada.

**6.3** Las muestras de pavimento terminado deben tomarse de la misma manera como se indica en 5.

**7.- Muestreo desde Camiones Transportadores.** Seleccione las unidades por muestrear por algún método al azar y enseguida tome por lo menos 3 porciones de cada una de las unidades seleccionadas, que sean aproximadamente iguales; mézclelas para obtener una muestra representativa cuya cantidad iguale o exceda el mínimo fijado en Tabla 8.302.27.A.

Las porciones pueden obtenerse colocando recipientes en el camión en el momento en que se está cargando o cogiéndolas del camión con una pala carbonera.

**8.- Identificación de Muestras.** De cada muestra adjunte la siguiente información:

- a) Camino, sector y cualquier otro dato que identifique fielmente la obra.
- b) Fuente de obtención de la mezcla o identificación del cordón y fecha de confección.
- c) Tipo de ligante asfáltico y agregado usados.
- d) Punto kilométrico y faja o lugar del muestreo.
- e) Cantidad representada.
- f) Fecha del muestreo.
- g) Propósito para el cual fue tomada la muestra.

## 8.302.28 ASFALTOS: METODO PARA ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCION\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de las partículas de agregado grueso y fino extraídos de muestras bituminosas. Sirve para verificar el cumplimiento de la granulometría con la banda de trabajo y además entrega antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

\*El Método 8.302.28 es una adaptación de la norma AASHTO T 30 – 93.

### 2.- Referencias.

- Método 8.302.56 Asfaltos: Método para Determinar el Contenido de Asfalto por Ignición.
- Método 8.202.3 Agregados Pétreos: Método para Tamizar y Determinar la Granulometría.
- Método 8.202.4 Agregados Pétreos: Método para Determinar el Fino Menor que 0,080 mm.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Balanzas.** Con capacidades de 5.000 y 2.000 g y resolución de 0,1 y 0,01 g, respectivamente.

**3.2 Tamices.** Que cumplan el Método 8.202.3.

**3.3 Horno.** Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**3.4 Recipientes.**

**3.5 Otros** (espátula y escobilla de bronce).

**4.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** El tamaño mínimo de la muestra de ensaye deberá cumplir con lo indicado en Tabla 8.302.36.A del Método 8.302.36.

### 5.- Procedimiento de Ensaye.

**5.1** Seque la muestra en horno hasta masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . La masa total de la muestra corresponde a la suma del agregado lavado y seco, el material fino en el solvente recuperado y el material fino retenido en el filtro, de acuerdo con el Método 8.302.36.

**5.2** Pese la muestra y colóquela en un recipiente; cúbrala con agua y adiciónale, en cantidad suficiente, un agente humectante, para asegurar la separación total del material que pasa tamiz 0,080 mm (N° 200) de las partículas más gruesas.

Agite vigorosamente el contenido del recipiente e inmediatamente vierta el agua de lavado sobre los tamices 2,5 mm (N° 8) y 0,080 mm (N° 200). Agite y revuelva el material manualmente o con una espátula.

**Nota 1:** La agitación debe ser lo suficientemente vigorosa para que se produzca la completa separación de todas las partículas más finas que 0,080 mm.

**5.3** Remueva los finos en suspensión mediante decantación y lavado. Repita la operación hasta que el agua esté limpia.

**Nota 2:** Debe evitar la pérdida de agregado en esta operación.

**5.4** Devuelva al recipiente todo el material retenido en los tamices; seque en horno el agregado lavado hasta masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Pese, aproximando a un decimal.

**5.5** Tamice el agregado usando la serie indicada en las especificaciones, incluyendo el tamiz 0,080 mm. Registre la masa del material retenido en cada tamiz y la que pasa por el de 0,080 mm.

**5.6** Compare la suma de las masas obtenidas en 5.5 con la masa del material seco después de lavado. La diferencia deberá ser menor que el 0,2 % de esta última.

**5.7** La masa total del material que pasa tamiz 0,080 mm se obtiene sumando la determinada por tamizado en seco, la retenida en el solvente de la extracción y la removida por lavado.

**5.8** La masa de las fracciones retenidas en los distintos tamices y el total que pasa 0,080 mm se expresan en porcentaje, dividiendo cada una de ellas por la masa total de la muestra definida en 5.1.

**6.- Expresión de Resultados.** Exprese la granulometría de acuerdo a los porcentajes que pasan por cada tamiz de la serie especificada, aproximando los porcentajes a números enteros, excepto para el material que pasa 0,080 mm, cuyo porcentaje se aproximará a un decimal. (Ver Lámina 8.302.36 B).

**7.- Informe.** El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato y empresa contratista.
- b) Procedencia de la muestra y fecha de muestreo.
- c) Entidad responsable del muestreo.
- d) Fecha del ensaye.
- e) Entidad responsable del ensaye.
- f) Contenido (%) de asfalto (determinado según Método 8.302.36).
- g) Granulometría de los agregados provenientes de la extracción (determinada por este Método).
- h) Cualquier otra información específica u observación relativa al ensaye.
- i) La referencia a este Método.

## **8.302.29 ASFALTOS: METODO ESTATICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFALTICO\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el cubrimiento y el procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par ligante asfáltico - agregado en presencia de agua. El procedimiento se aplica a materiales bituminosos cortados, semisólidos y emulsiones asfálticas.

\*El Método 8.302.29 es una adaptación de la norma ASTM D 1664 - 80.

### **2.- Referencias.**

- Norma ASTM E11 Especificaciones para Tamices.
- Método 8.202.1 Agregados Pétreos: Método para extraer y preparar muestras.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Se mezcla el agregado seleccionado y preparado con el material bituminoso a la temperatura indicada según el tipo de ligante asfáltico empleado. Se da un período de curado a la mezcla, excepto cuando se usen asfaltos semisólidos. Después del curado, la mezcla se sumerge en agua durante un tiempo determinado; al final del período de inmersión y con la mezcla bajo agua, se evalúa, visualmente, el área de agregado que no presenta desprendimiento de asfalto, informándose como mayor o menor a 95 %.

### **4.- Equipos y Accesorios.**

- Recipientes metálicos de una capacidad de 250 cm<sup>3</sup>.
- Balanza de 500 g de capacidad y resolución mínima de 0,1 g.
- Espátula de acero con hoja de 10 cm de largo y 2,5 cm de ancho.
- Vasos de vidrio graduados de 600 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- Horno termoregulable, capaz de mantener una temperatura constante entre 60 °C y 150 °C, con precisión ± 1°C.
- Tamices de 5 y 10 mm.
- Mechero.
- Lámpara con ampolleta esmerilada de 75 watt.

**5.- Extracción y Preparación de la Muestra.** La muestra se debe extraer y preparar de acuerdo con el Método 8.202.1.

### **6.- Acondicionamiento de los Materiales.**

**6.1 Características.** El 100 % de la muestra de agregados debe pasar por tamiz 10 mm y quedar retenida en el tamiz de 5 mm. Debe lavarse con agua destilada para quitar el polvo adherido y secar a 110 ± 5° C, hasta masa constante.

**6.2 Condiciones de Terreno.** Debe emplearse este método de ensaye de adherencia para verificar el cumplimiento de especificaciones establecidas en el proyecto para el agregado y el asfalto. En este caso se utilizará el asfalto y el agregado pétreo que se emplearán en la construcción del proyecto.

**6.3 Agregado de Referencia.** Puede hacerse el ensaye de evaluación de resistencia al despegue con varios asfaltos para fines comparativos. En este caso use un "Agregado Normal" de propiedades conocidas.

**6.4 Asfalto de Referencia.** El ensaye puede usarse también para una evaluación comparativa de varios agregados. En tal caso, utilice un asfalto de propiedades conocidas como "Asfalto Normal".

**6.5 Agua Destilada.** El agua destilada por emplear en el lavado de los agregados y durante el ensaye, debe tener un pH entre 6,0 y 7,0. No se permite usar electrolito para alcanzar el pH exigido.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

### 7.1 Método de Ensaye de Agregados Secos para Asfaltos Líquidos.

- a) Coloque 100 g de agregado seco, sin calentar previamente, en un recipiente metálico de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad y adicione asfalto cortado en una proporción de  $5,5 \pm 0,2$  % referido al peso del agregado seco o de  $8,0 \pm 0,2$  % en el caso de emulsiones asfálticas. Mezcle el material bituminoso y el agregado vigorosamente con un espátula durante 2 min.
- b) Caliente la mezcla agregado – ligante asfáltico en un mechero el tiempo mínimo necesario para producir una adherencia efectiva, sin sobrepasar la temperatura de curado.
- c) Cure el agregado cubierto con ligante asfáltico en horno durante 2 h, en el mismo recipiente. En el caso de asfaltos cortados la temperatura de curado debe ser de  $60 \pm 1^\circ$  C. Luego enfríe hasta alcanzar la temperatura ambiente o hasta que haya enfriado lo suficiente como para que el cubrimiento bituminoso no se desprenda de la superficie del agregado pétreo.

**Nota 1:** El revestimiento asfáltico deberá ser completo después del mezclado, no aceptándose puntos descubiertos.

- d) Someta la mezcla al ensaye de inmersión en agua, de acuerdo a lo indicado en 7.4.

**7.2 Método de Ensaye de Agregados Húmedos para Asfaltos Líquidos.** El ensaye con agregado húmedo se aplica sólo en caso que se use un aditivo que mejore la adherencia de la mezcla. No obstante, para estudios comparativos, se podrá emplear la misma prueba sin aditivos.

- a) Agregue agua destilada a 100 g de agregado seco de manera cuidadosa y uniforme en cantidad suficiente para humedecerlo, eliminando el agua libre. Mezcle vigorosamente con espátula hasta que el agregado quede completamente humedecido y luego vacíe a otra cápsula.
- b) Mezcle el agregado húmedo a temperatura ambiente con un  $5,5 \pm 0,2$  % de asfalto cortado referido al peso del agregado seco o un  $8,0 \pm 0,2$  %, en el caso de emulsión asfáltica.
- c) Revuelva la mezcla vigorosamente con una espátula durante 2 min y continúe luego con los pasos descritos desde 7.1 b) a d).

**7.3 Método de Ensaye de Agregados Secos para Asfaltos Semisólidos.** El ensaye con asfaltos semisólidos se ha estudiado sólo para agregados secos.

- a) Pese 100 g de agregado lavado y seco en un recipiente metálico y coloque en horno durante 1 h a temperatura constante de  $140 \pm 5^\circ$  C.
- b) Caliente el cemento asfáltico hasta alcanzar la temperatura del agregado.
- c) Adicione al agregado caliente un  $5,5 \pm 0,2$  % de asfalto, referido al peso del agregado seco.
- d) Mezcle con la espátula hasta que los materiales alcancen la temperatura ambiente o hasta que se haya obtenido el cubrimiento total de la superficie de los agregados. Si no puede obtener un cubrimiento total del agregado, caliente suavemente la mezcla en el recipiente con un mechero, hasta lograr esta condición.

**Nota 2:** En caso que el ligante asfáltico sea tan líquido que fluya del agregado dejando un cubrimiento muy delgado, continúe el mezclado hasta que el agregado absorba todo el ligante asfáltico. El cubrimiento asfáltico del agregado debe ser total, no aceptándose puntos descubiertos.

- e) Una vez obtenido el cubrimiento total, deje enfriar la mezcla agregado – ligante asfáltico hasta temperatura ambiente e inmediatamente después sométala al ensaye de inmersión en agua descrito en 7.4.

#### 7.4 Inmersión en Agua.

- a) Coloque el agregado cubierto, preparado según los métodos descritos anteriormente, en el vaso de vidrio de 600 cm<sup>3</sup>.
- b) Cubra el agregado con 400 cm<sup>3</sup> de agua destilada a temperatura ambiente.
- c) Deje el agregado en inmersión por un período mínimo de 16 a 18 h, a la temperatura de la sala (20 ± 3 °C).

**7.5 Evaluación.** Después del período de inmersión en agua, la adherencia de la película de ligante asfáltico o cubrimiento se determina visualmente, sin agitación y cuando la mezcla permanezca inmóvil en el agua. Estime el área de agregado que quede cubierta, como mayor o menor a 95%.

**Nota 3:** Se recomienda realizar esta estimación con ayuda de una lámpara provista de una ampolleta esmerilada de 75 watts, colocada en una posición tal que el reflejo en la superficie del agua no afecte la observación. Cualquier área delgada, oscura o semitransparente, se considerará totalmente cubierta.



### **8.302.30 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFALTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER)**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece un procedimiento para determinar el grado de adherencia de una película de ligante asfáltico con el agregado, mediante el uso de carbonato de sodio.

#### **2.- Referencias.**

- Norma ASTM E11 Especificaciones para tamices.
- Método 8.202.1 Agregados pétreos: Método para extraer y preparar muestras.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Se mezcla una muestra de agregado, previamente acondicionada con ligante asfáltico, y se somete a ebullición con agua destilada durante 1 min. Si no se produce despegue, la mezcla se somete a ebullición con soluciones de carbonato de sodio, de concentración creciente, tratando de producir el despegue total.

#### **4.- Equipos y Accesorios.**

- a) Tamices de 0,63 mm (N° 30), 0,16 mm (N° 100) y 0,08 mm (N° 200).
- b) Tubos de ensaye de vidrio Pyrex, de 20 mm de diámetro y 200 mm de altura.
- c) Pinza de madera.
- d) Mechero Bunsen.
- e) Cronómetro.
- f) Probetas graduadas de 100 cm<sup>3</sup>.
- g) Bandejas.
- h) Cápsulas metálicas de 250 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- i) Balanza analítica de precisión, con resolución de 0,01 g.
- j) Horno termostático capaz de mantener una temperatura constante entre 60 °C y 150 °C, con precisión  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- k) Vidrio reloj.

**5.- Extracción y Acondicionamiento de la Muestra.** El tamaño de la muestra, de aproximadamente 200 g, se obtiene de acuerdo con el Método 8.202.1.

**5.1** Tamice la muestra por vía húmeda en tamiz 0,08 mm.

**5.2** Seque la muestra hasta masa constante en horno a temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Deje enfriar a temperatura ambiente.

**5.3** Obtenga la fracción de muestra que pasa tamiz 0,63 mm y queda retenida en tamiz 0,16 mm, descartando el resto de ella.

**6.- Procedimiento de Ensaye.** Prepare la muestra en proporción de 71 volúmenes de arena por 29 volúmenes de ligante asfáltico.

#### **6.1 Adherencia con Cemento Asfáltico.**

- a) Mezcle la arena con el cemento asfáltico y caliente a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Deje enfriar durante 1 h a temperatura ambiente en un recipiente abierto.
- b) Coloque 0,5 g de mezcla en un tubo de ensaye, agregue 6 cm<sup>3</sup> de agua destilada y lleve a ebullición agitando durante 1 min.

- c) Una vez terminada la ebullición, llene de agua el tubo de ensaye, agite y observe el aspecto de la mezcla; habrá despegue total cuando los granos se mantengan desunidos y no se adhieran o habrá despegue parcial si los granos desunidos pegan aún entre sí.  
Puede verificar el despegue vertiendo en un vidrio reloj el contenido del tubo de ensaye, previamente agitado en agua. Si el despegue no es total las partículas permanecerán unidas en el fondo del tubo; en caso contrario las partículas despegadas serán arrastradas al vidrio reloj, donde podrán ser examinadas. Para la medida del grado de adherencia no considere el ligante asfáltico que se ha ido a la superficie durante la ebullición, sólo considere las partículas de agregado.
- d) Si este ensaye preliminar indica que la adherencia es buena, es decir no hay despegue de las partículas de agregado con el agua, tome una nueva muestra de 0,5 g de mezcla y hágala hervir durante 1 min con 6 cm<sup>3</sup> de solución de carbonato de sodio de concentración creciente (Tabla 8.302.30.A), hasta lograr el despegue total.

La concentración de la solución que produce el despegue entrega el grado de adherencia.

Anote el comienzo y final del despegue. El grado de adherencia será 0-1, 0-2, 0-3, etc., cuando el despegue comienza con el agua destilada, para terminar con la solución 1, 2, 3, etc., de carbonato de sodio. El grado de adherencia será 0 cuando el despegue sea total con el agua destilada.

**6.2 Adherencia con Asfaltos Cortados.** El procedimiento es igual al descrito en 6.1, exceptuando la temperatura de mezclado que es de  $60 \pm 3$  °C y la temperatura de curado en horno que es de  $110 \pm 5$  °C, por un período de 5 h.

**6.3 Adherencia con Emulsiones Asfálticas.** El procedimiento es igual al descrito en 6.1, excepto que:

- a) Se mezcla a temperatura de  $20 \pm 3$  °C.  
b) Se prepara la mezcla a razón de 29 volúmenes de emulsión por 71 volúmenes de arena.  
c) Una hora después de efectuada la mezcla se coloca en horno durante 24 h a la temperatura de  $35 \pm 3$  °C.

**7.- Informe.** Informe como adherencia agregado – ligante asfáltico: a – b

donde:

- a: Inicio de despegue  
b: Final de despegue

**8.- Preparación de Soluciones.** Las soluciones de Carbonato de Sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) se indican en la Tabla 8.302.30.A.

La concentración molar M se obtiene disolviendo 106 g de Carbonato de Sodio puro y seco en 1 l de agua destilada. Las soluciones M/2, M/4, M/8, etc., se obtienen diluyendo la solución precedente o bien disolviendo la cantidad correspondiente de Carbonato de Sodio. Los grados de adherencia correspondientes a cada solución se designan con los números 0 a 10.

**TABLA 8.302.30.A**  
**SOLUCIONES DE CARBONATO DE SODIO Y SUS GRADOS DE ADHERENCIA**

	Concentración		Grado de Adherencia
	M	g/l	
Agua destilada			0
Solución de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	M/256	0,414	1
	M/128	0,828	2
	M/64	1,656	3
	M/32	3,312	4
	M/16	6,624	5
	M/8	13,250	6
	M/4	26,50	7
	M/2	53,00	8
	M	106	9
Si no hay despegue total en la solución 9			10



### **8.302.31 ASFALTOS: METODO DINAMICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO - LIGANTE**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método para determinar la adherencia se utiliza para apreciar la resistencia de las mezclas asfálticas o la pérdida del cubrimiento de la película de asfalto en partículas de agregado pétreo. Generalmente se utiliza para evaluar el agregado mineral, pero también puede usarse para juzgar la capacidad adhesiva de los materiales asfálticos. El ensaye se aplica a los fragmentos de agregado pétreo que pasan el tamiz 10 mm y quedan retenidos en el tamiz 2,5 mm.

#### **2.- Equipo.**

- 2.1 Frascos de vidrio de 240 ml con tapa de rosca.
- 2.2 Una máquina adecuada para agitar el material durante el ensaye.
- 2.3 Un horno capaz de mantener una temperatura uniforme de  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .
- 2.4 Baño de agua capaz de mantener una temperatura uniforme de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.- Materiales.**

- 3.1 Agua destilada
- 3.2 Tipo de asfalto que se ha de utilizar en la construcción.

**4.- Preparación de la Muestra.** Procese el agregado de una manera similar al procedimiento de construcción; por ejemplo, lávelo si ha de usarse lavado, de otra manera ensáyelo como se recibió.

Haga el ensaye de adherencia sobre la fracción de agregados entre 10 y 5 mm y agregados combinados entre 5 y 2,5 mm, que representen la mezcla. Si el agregado se recibe tal como va a ser utilizado, es decir, ya procesado, prepare dos muestras representativas para efectuar el ensaye por duplicado. Cuando la mezcla está compuesta por agregados naturales y agregados triturados, entonces prepare tres muestras; una del agregado natural, otra del agregado triturado y otra, una combinación del agregado triturado y del natural, en proporciones que cumplan con la granulometría y las especificaciones de chancado.

#### **5.- Mezclado.**

**5.1** Mezcle 60 g de agregado con el tipo de asfalto que se va a utilizar en la construcción. La cantidad de asfalto variará aproximadamente de un 4 a un 8% en peso (del agregado), dependiendo de las características de absorción y textura del agregado. Deben mezclarse los agregados y el tipo de asfalto a la temperatura que se va a utilizar en la construcción.

**5.2** Cuando se use emulsión asfáltica como ligante, humedezca el agregado completamente antes de aplicarlo. Después que se ha añadido la emulsión (10 g son usualmente suficientes), mézclelo completamente permitiéndole reposar 2 ó 3 min; remezcle y deje drenar el exceso.

**5.3** Cure por 15 h a  $60^{\circ}\text{C}$ .

#### **6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** Al terminar el período de curado de 15 h, coloque la muestra en el frasco de vidrio de 240 ml.

**6.2** Enfríe el frasco con la muestra a la temperatura de aproximadamente 25°C en el baño de agua y añádale 175 ml de agua pura o destilada, a la misma temperatura.

**6.3** Coloque el frasco con la muestra en la máquina para agitar y agítelo durante 15 min.

**6.4** Quite el frasco del aparato y por medio de observación visual, estime el porcentaje del área de agregado que perdió el recubrimiento asfáltico.

**6.5** En casos excepcionales, cuando se desee información especial, agite la muestra por períodos adicionales de 15 min, sucesivamente a 38 y 49°C.

## **7.- Precauciones.**

**7.1** Es esencial para obtener resultados consistentes, mezclar cuidadosa y uniformemente todos los agregados con el asfalto.

**7.2** Mantenga la temperatura del ensaye dentro de los límites especificados.

**7.3** Los agregados y el asfalto deben calentarse y mezclarse a las temperaturas de trabajo de obra, según sea el tipo de mezcla y especificación pertinente.

**7.4** Es recomendable efectuar simultáneamente un ensaye con un material de reconocida buena adherencia para que sirva de patrón de comparación.

## **8.- Notas.**

**8.1** Los resultados de “adherencia buena” y “adherencia regular” (más del 95% de área cubierta con película de asfalto y menos de 95% y más de 75%, respectivamente) indican que el material es resistente a la acción de pérdida de película de asfalto y su uso es aceptable. En caso de adherencia regular se debe usar aditivo.

**8.2** Los agregados que muestren un desprendimiento de película de asfalto mayor que 25%, se consideran inaceptables, especialmente si van a ser utilizados como agregados en mezclas en plantas de granulometría abierta o capa de sello, donde una porción mayor de la superficie del agregado está expuesto al tránsito y a la acción del clima.

**9.- Informe.** Informe los resultados en uno de los siguientes términos:

- a) “Adherencia buena” (más del 95 % del área cubierta)
- b) “Adherencia regular” (entre 95% y + 75% del área cubierta)
- c) “Adherencia mala” (75% o menos del área cubierta)

**8.302.32 (EN BLANCO)**

### 8.302.33 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PELICULA DELGADA ROTATORIA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se usa para medir el efecto de calor y aire en una película en movimiento de materiales asfálticos semisólidos en forma rutinaria, y para los otros tipos, sólo en caso de investigación. Los efectos de este tratamiento se determinan en base a mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensaye.

\* El Método 8.302.33 es una adaptación de la norma AASHTO T 240-78.

**2.- Resumen.** Una película en movimiento de material asfáltico se calienta en un horno durante 75 min a 163°C; el endurecimiento se determina mediante los ensayes físicos. También se incluye un procedimiento opcional para determinar el cambio de masa.

Los valores de precisión han sido desarrollados para una viscosidad de 60°C y ductilidad a 15,6°C.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Horno.** Debe ser eléctrico, de doble pared calentado por convección; las dimensiones laterales serán: alto 381 mm, ancho 483 mm y profundidad (con puerta cerrada)  $445 \pm 13$  mm. La puerta debe contar con una ventana ubicada en forma simétrica, con dimensiones de 300 a 330 mm de ancho por 200 a 230 mm de alto. La ventana debe tener dos láminas de vidrio resistentes al calor y un espacio de aire; debe permitir una visión completa del interior del horno. La parte superior del elemento de calentamiento estará  $25 \pm 3$  mm por debajo del piso interior del horno. El horno tendrá respiraderos en el tope y en el fondo; los del fondo deben estar ubicados simétricamente para suministrar aire entrante alrededor de los elementos de calentamiento. Estos tendrán una abertura de  $15 \pm 0,5$  cm<sup>2</sup> de superficie. Los respiraderos del tope tendrán una distribución simétrica en la superficie superior del horno y tendrán una superficie de  $9,5 \pm 0,5$  cm<sup>2</sup>.

- a) El horno tendrá circulación de aire que cubra las paredes y el techo; este espacio con aire debe tener una profundidad de 38 mm desde las paredes y el techo. En el punto medio a lo ancho del horno y a 152 mm desde la cara del portador metálico circular, se introducirá el eje de un rotor tipo jaula de abanico de 133,5 mm de diámetro por 73 mm de ancho, que debe girar a 1.725 rpm, mediante un motor montado en el exterior del horno. El rotor de jaula abanico se instalará para que el abanico gire en dirección opuesta a sus veletas. El flujo de aire, característico de un sistema de abanico plano, será succionado desde el fondo del piso del horno a través del espacio de las paredes, saliendo a través del abanico. Las Láminas 8.302.33.A y B muestran detalles de este sistema.
- b) El horno debe estar equipado con un control termostático capaz de mantener la temperatura dentro de un rango de  $163^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . El elemento sensor del termostato debe ubicarse a 25 mm del lado izquierdo y aproximadamente a 38 mm del techo del interior del espacio aireado cerrado del horno, de modo que el extremo del elemento sensor está en un punto aproximado de 203 mm desde la pared trasera del interior del horno. El termómetro se suspenderá o unirá a un marco en el techo, que esté a 51 mm del lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de manera que el bulbo del termómetro esté dentro de 25 mm en una línea de nivel imaginario al eje del portador metálico circular. El control de calentamiento debe ser capaz de llevar la carga completa en la parte trasera del horno a la temperatura de ensaye dentro de un período de 10 min, después de insertadas las muestras en el horno precalentado.
- c) El horno debe estar provisto de un portador circular vertical de 305 mm de diámetro (Ver Lámina 8.302.33.B). El portador estará provisto de aberturas apropiadas con abrazaderas para sostener firmemente ocho contenedores de vidrio en posición horizontal (Ver Lámina 8.302.33.C). El portador vertical debe girar mecánicamente a través de un eje de 19 mm de diámetro a una velocidad de  $15 \pm 0,2$  rpm.
- d) El horno debe estar equipado con un surtidor para introducir aire caliente a cada contenedor en el punto más bajo de su trayectoria. El surtidor de aire tendrá un orificio de salida de 1,02 mm de diámetro (Taladro N° 60) conectado a una cañería de cobre de 7,6 m de largo y 7,9 mm de

diámetro externo. Esta cañería debe ser enrollada para tenderla en forma plana en el fondo del horno y conectada a una fuente reguladora de aire fresco, seco, libre de polvo.

**Nota 1:** La sílica gel activa tratada con un indicador de humedad es un desecador satisfactorio para secar el aire.

**3.2 Medidor del Flujo.** El medidor de flujo puede ser de cualquier tipo adecuado capaz de medir con exactitud el flujo de aire a una velocidad de 4.000 ml/min en el orificio de salida de la cañería de cobre.

**3.3 Termómetro.** Debe ser un termómetro 13C ASTM, como se prescribe en ASTM E1.

**3.4 Contenedores.** Los contenedores en los cuales la muestra se ensaya, deben ser de vidrio resistente al calor y que conformen las dimensiones mostradas en la Lámina 8.302.33.C.

#### 4.- Preparación del Horno.

**4.1** La posición del orificio de salida del aire es 6,4 mm desde la abertura del contenedor de vidrio. El orificio debe estar ubicado de tal modo que el surtidor sople horizontalmente dentro del arco central de la abertura circular del contenedor de vidrio.

**4.2** Coloque el termómetro especificado en 3.3 de manera que el extremo del bulbo esté dentro de los 25 mm del nivel del centro del eje del portador circular.

**4.3** Nivele el horno para que los ejes de los contenedores queden horizontales cuando se ubiquen en el portador.

**4.4** Previo al ensaye, precaliente el horno por un mínimo de 120 min, con los controles en la posición que se usarán durante la operación del horno. El control del termostato deberá ajustarse de modo que cuando el horno esté completamente cargado e inyectando aire, se estabilice a  $163 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , durante un período mínimo de 10 min.

#### 5.- Procedimiento de Ensaye.

**5.1** Una vez que la muestra esté libre de agua, caliéntela en un recipiente con tapa suelta en un horno que no exceda de  $163^{\circ}\text{C}$ , por el tiempo mínimo necesario para asegurar que la muestra está completamente fluida; agite manualmente, evitando incorporar burbujas de aire.

**5.2** Vacíe  $35 \pm 0,5$  g de muestra en cada uno de los contenedores de vidrio requeridos, suministrando suficiente material para los ensayos característicos que se le realizan al residuo.

**Nota 2:** Para ensayos arbitrarios se requieren ocho contenedores.

**5.3** Cuando no se requiere establecer el cambio de masa, deje enfriar el contenedor aproximadamente a la temperatura de la sala, antes de colocarlo en el horno como se prescribe en 5.4. Cuando desee el valor cuantitativo del cambio de masa, use dos contenedores para la determinación. Enfríe los contenedores de ensaye a la temperatura de la sala y pese cada uno en forma separada, aproximando a 0,001 g.

**Nota 3:** No use el residuo de la determinación del cambio de masa para otros ensayos.

**5.4** Con el horno a la temperatura de operación, ordene los contenedores cargados con asfalto en el portador de manera que éste quede balanceado. Llene los espacios no usados del portador con contenedores vacíos. Cierre la puerta y haga rotar el portador a una velocidad de  $15 \pm 0,2$  rpm. Accione el flujo de aire a una razón establecida de  $4.000 \pm 300$  ml/min. Mantenga las muestras en el horno con el aire fluyendo y el portador girando por 75 min. La temperatura de ensaye de  $163 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  debe alcanzarse dentro de los primeros 10 min, si no es así, suspenda el ensaye. Al término del período de ensaye saque los contenedores del horno. Si el cambio de masa no se determina, proceda de acuerdo con 5.5; para los contenedores de vidrio en los que se determina el cambio de masa, enfríe a la temperatura de la sala en un

deseCADador, luego pese aproximando a 0,001 g y calcule el cambio en masa en base al asfalto del contenedor. Descarte el residuo.

**5.5** Inmediatamente vacíe todo el residuo, sin raspar, desde cada contenedor a un contenedor bastante más grande, de manera que cuando se haya recolectado todo, el contenedor no se llene más de un 75% de su capacidad. No deje que la película de los contenedores se enfríe antes de sacarla ni recaliente los contenedores para obtener más residuo. Proceda como se describe en 5.6.

**5.6 Ensaye el residuo dentro de las 24 h de ejecutado el ensaye de película delgada rotatoria.**

**6.- Informe.** Informe los resultados del ensaye de película delgada rotatoria en términos de los cambios físicos en el asfalto generados por el ensaye. Estos valores se obtienen mediante la ejecución de ensayes adecuados en el asfalto antes y después del ciclo en el horno del ensaye de película delgada rotatoria.

**7.- Precisión.** El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a 60°C y de ductilidad a 15,6°C en el residuo después del ensaye de P.D.R., están dados en Tabla .8.302.33.A.

La tabla entrega en la segunda columna la desviación estándar (Normal) que han sido encontradas apropiadas para los materiales y condiciones de ensaye descritos en la Columna 1.

La tabla entrega en la tercera columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos ensayes.

La tabla entrega en la cuarta columna los coeficientes de variación estándar (normal) (como % de la media) que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensaye descrito en la primera columna.

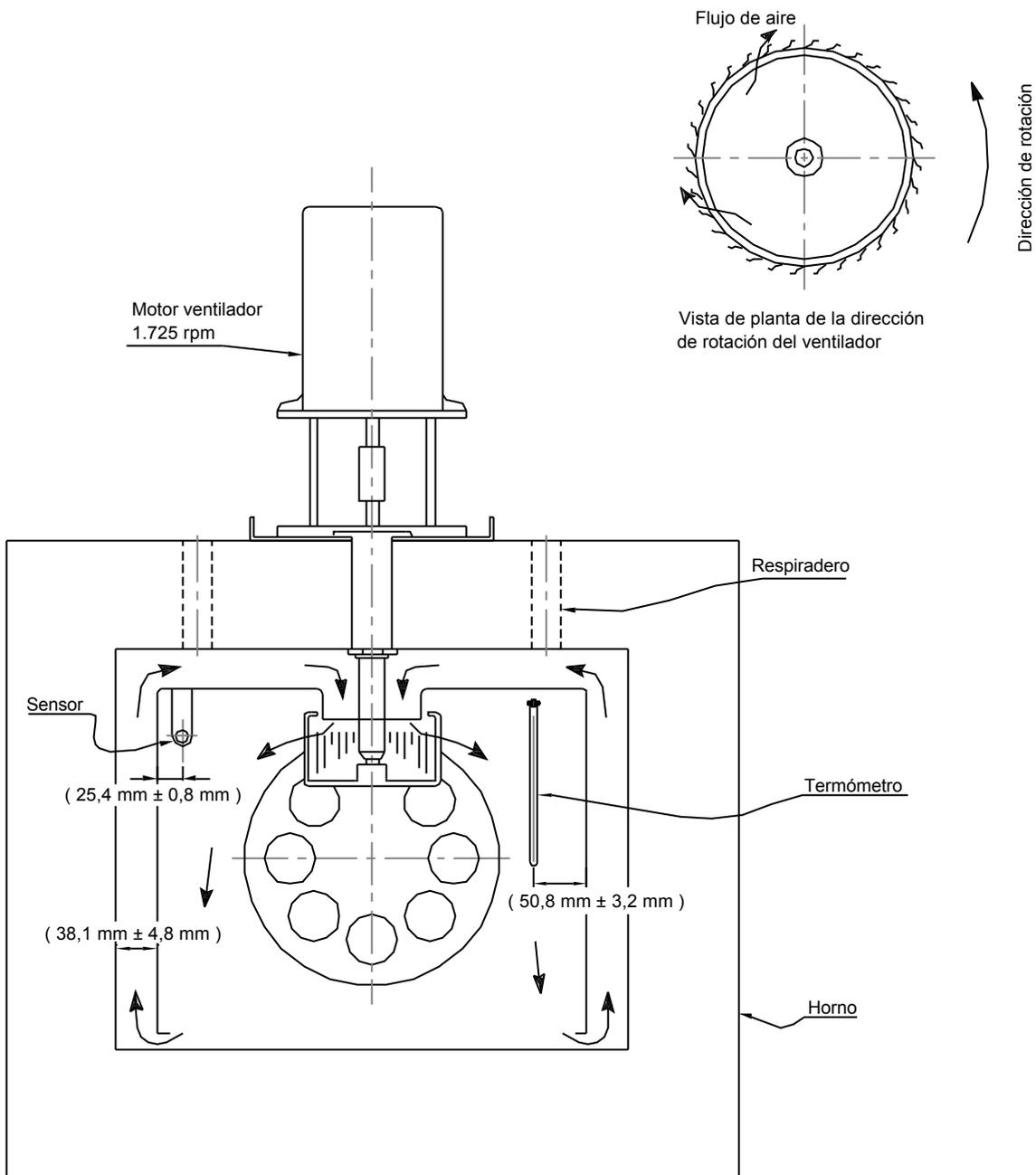
La tabla entrega en la quinta columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos propiedades de ensaye expresados en porcentaje de la media.

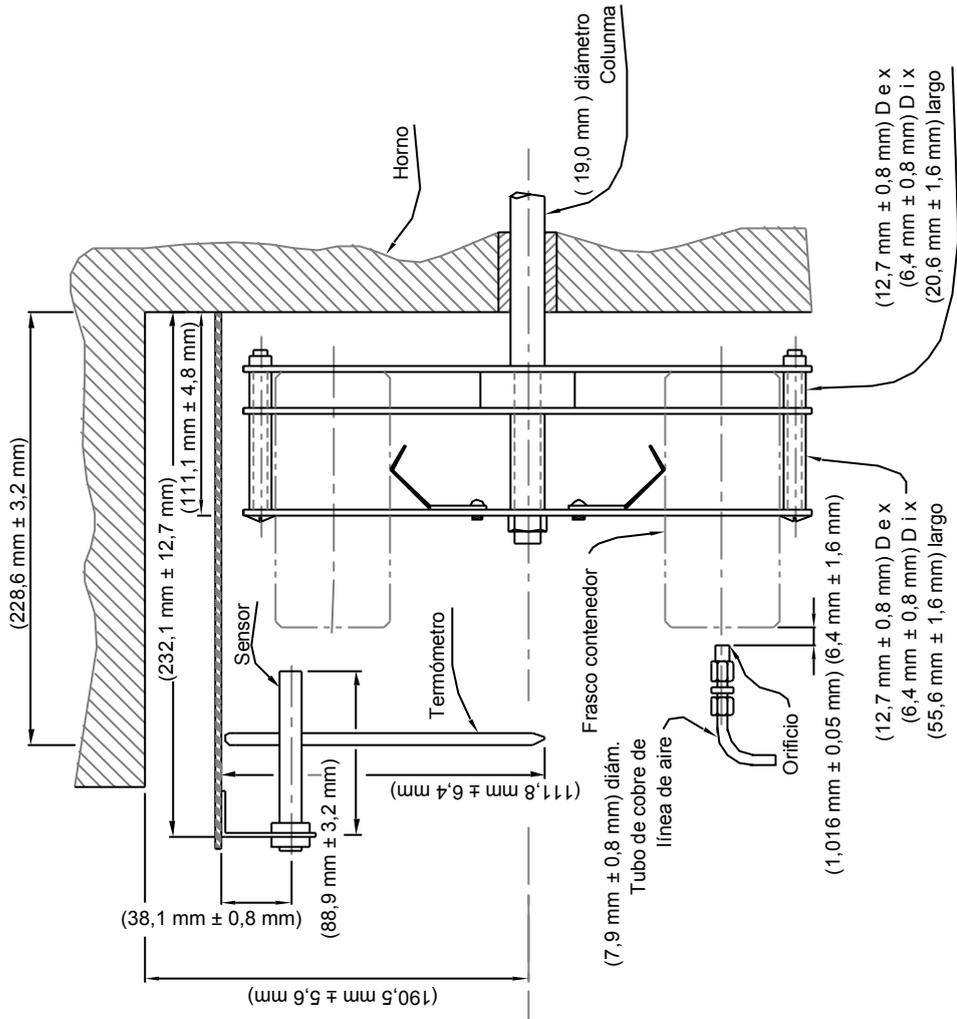
Criterios de juicio para otros consultados no han sido evaluados.

**TABLA 8.302.33.A  
PRECISION**

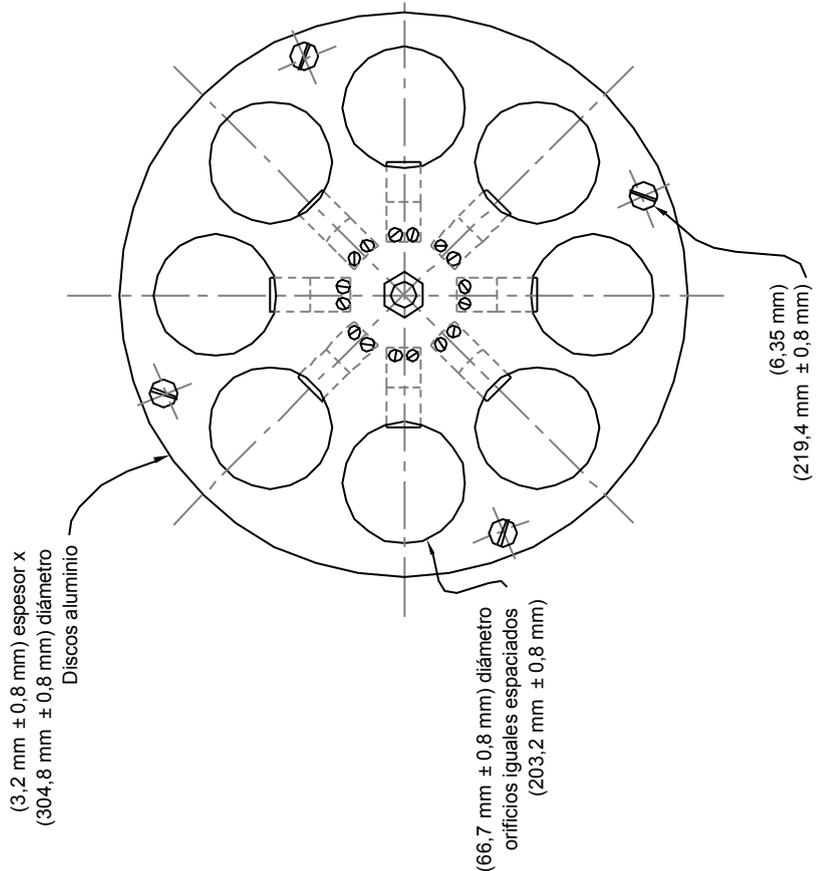
<b>Métodos de Ensaye</b>	<b>Desviación Normal (1S)</b>	<b>Rango aceptable de dos resultados (D2S)</b>	<b>Coficiente de variación (% media) (1S%)</b>	<b>Rango aceptable de 2 resultados (% media) (D2S%)</b>
Precisión de un solo operador Viscosidad a 60 °C (140 °F) Ductilidad a 15,6 °C (60 °F) <sup>(1)</sup>	3 cm	9 cm	2,3	6,5
Precisión entre laboratorios, Viscosidad a 60 °C (140 °F) Ductilidad a 15,6 °C (60 °F)	6 cm	16 cm	4,2	11,9

<sup>(1)</sup>.Se basa en el análisis de información resultante ensayes de 16 laboratorios en dos tipos de asfalto en un rango de 13 a 30 cm.

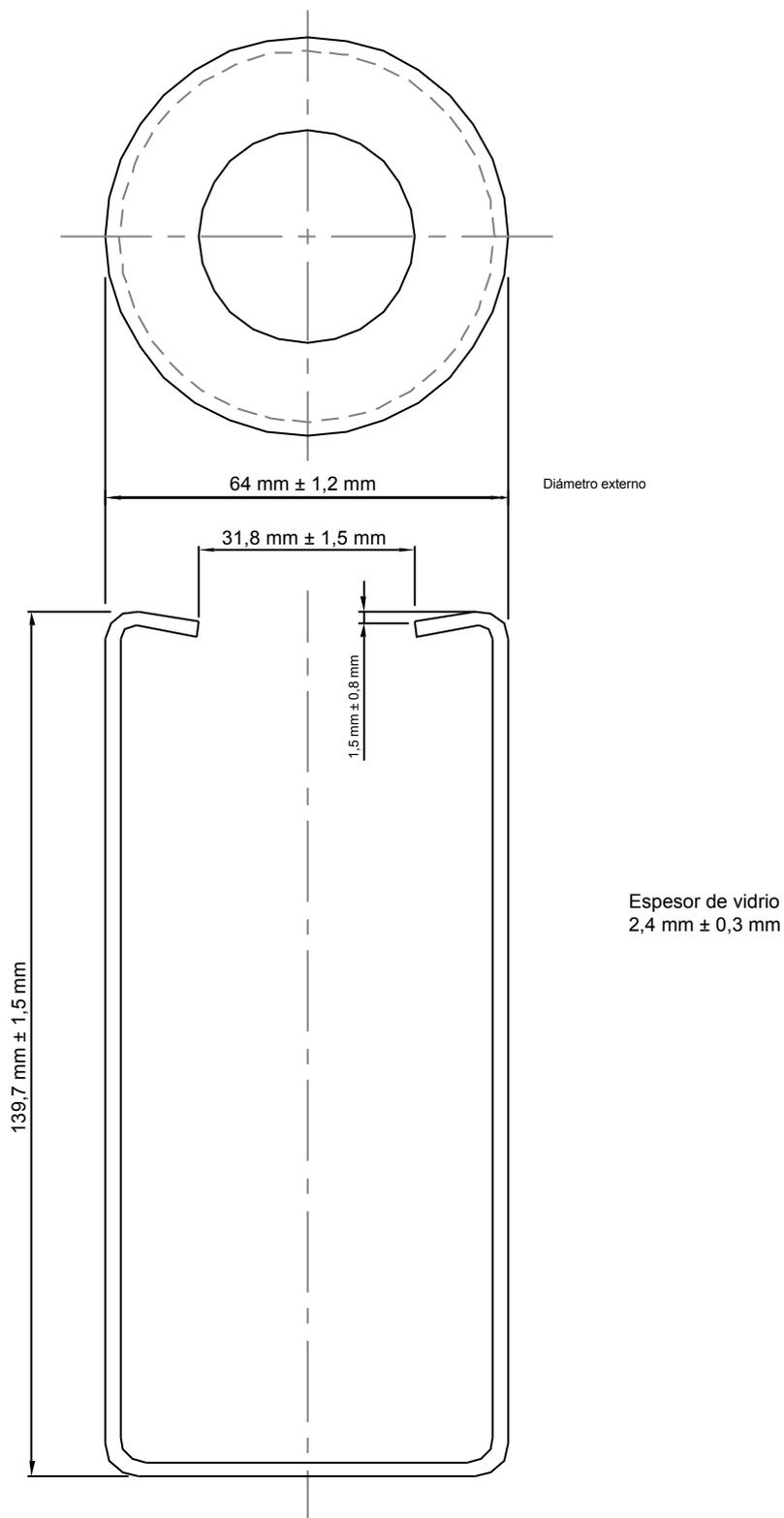




Vista de perfil



Vista del frente



### 8.302.34 ASFALTOS: METODO ABSON PARA LA RECUPERACION DE ASFALTO \*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento para recuperar, por el Método de Abson, el material bituminoso en el líquido extraído de las mezclas asfálticas, utilizando tricloroetileno.

El material bituminoso se recupera con propiedades que son sustancialmente las mismas que posee en la mezcla asfáltica y en cantidad suficiente para ensayos posteriores.

El material bituminoso puede extraerse de la mezcla asfáltica o testigo de acuerdo con el Método 8.302.36 Asfalto: Método para separar el Ligante de una Mezcla Asfáltica o Testigo, por Centrifugación, para posterior ensayo de Recuperación del Ligante Asfáltico

\*El Método 8.302.34 es una adaptación de la norma AASHTO T 170 - 82.

**2.- Resumen del Método.** La solución asfalto-solvente obtenido de la extracción es destilado bajo las condiciones señaladas hasta un punto donde la mayor parte del solvente ha sido destilado, luego de lo cual se introduce dióxido de carbono en el proceso de destilación para remover las últimas trazas del solvente. El asfalto recuperado (residuo asfáltico) puede ser utilizado para otros ensayos requeridos.

#### 3.- Equipo.

**3.1 Centrífuga.** Con capacidad para 2 frascos de boca ancha de 240 ml y que pueda producir una fuerza de 770 unidades de gravedad. También puede utilizarse el equipo especificado en el Método ASTM D 96.

**3.2 Tubos Centrífugos.** Una provisión de frascos de boca ancha de 240 ml o tubos centrífugos como se muestra en las figuras 1 y 2 de la norma ASTM D 96.

**3.3 Aparato de Destilación.** Como se muestra en la Lámina 8.302.34 A; consta de las siguientes partes:

- a) Frascos de extracción; dos matraces de boca ancha de 250 ml resistentes al calor, uno para la destilación y otro como recipiente.
- b) Tubería de vidrio; resistente al calor, con un diámetro interno de 10 mm y doblado en la forma como se muestra en la Lámina 8.302.34 A, para conectar el matraz con el condensador.
- c) Tubo de aireación; que tenga 180 mm de longitud, con diámetro externo de 6 mm y con un bulbo de 10 mm de diámetro que contenga 6 orificios, de aproximadamente 1,5 mm de diámetro, dispuestos escalonadamente.
- d) Manto calefactor (como se muestra en la Lámina 8.302.34 A), que se amolde a un matraz de 250 ml con transformador variable o baño de aceite, para el matraz de destilación.
- e) Condensador con camisa de agua, de 475 a 500 mm de longitud.
- f) Termómetro de tipo ASTM 7C para baja destilación, con un rango de - 2 a 300° C y que cumpla con los requerimientos de la norma ASTM E 1.
- g) Medidor del flujo de gas, como se muestra en la Lámina 8.302.34 A o cualquier otro medidor capaz de indicar flujo de gas de 1.000 ml/ min.
- h) Tapones de corcho, tamaño N° 20 y perforados como lo muestra la Lámina 8.302.34 A .
- i) Un tubo de goma de 25 mm de longitud, con diámetro interno de 5 mm, que se coloca en el tubo de aireación antes de la entrada de CO<sub>2</sub> con un extremo de la goma tapado con una vara de vidrio de 13 mm de longitud.
- j) Embudo de separación, con capacidad de 125 ml.
- k) Proveedor de CO<sub>2</sub>: tanque presurizado, con válvula reductora de presión u otra.

**4.- Medidas de Seguridad.** Todos los solventes orgánicos son tóxicos en algún grado, por lo que se debe estar provisto de muy buena ventilación en todos los casos.

Como medidas de seguridad se deben utilizar delantal de protección, zapatos de seguridad, protección ocular, guantes resistentes a los solventes, máscara de protección respiratoria con filtro para vapores orgánicos y elementos para controlar derrames, además de contar con extintores (tipo ABC) y letrero con información de emergencia.

Las medidas citadas no pretenden señalar todos los problemas de seguridad asociados con el uso de solventes. Es responsabilidad del laboratorio y su personal establecer la seguridad apropiada y las prácticas de salud, antes de su uso.

**5.- Preparación de la Muestra.** La muestra debe consistir en una solución asfalto-solvente, obtenida de una extracción previa por el método 8.302.36, de una muestra de mezcla asfáltica de masa suficiente para que resulten aproximadamente 75 a 100 gramos de asfalto recuperado. Pueden recuperarse más o menos cantidades de asfalto; sin embargo, las propiedades del asfalto recuperado pueden no estar en concordancia con aquellas que se recuperan de una cantidad de 75 a 100 gramos. En casos de discrepancia, deben recuperarse 75 a 100 gramos.

Durante el proceso de extracción, es importante que todo el asfalto de la mezcla sea extraído, ya que puede haber alguna solvencia selectiva del asfalto, y los componentes duros más viscosos del asfalto pueden quedar en la mezcla si la extracción no se desarrolla completamente.

Dado que destilados pesados de petróleos, tales como minerales o kerosenes, afectarán las propiedades del asfalto recuperado, es importante evitar el uso de tales solventes limpiando los aparatos de extracción y recuperación y usando sólo tricloroetileno para limpiar. Residuos de solventes de petróleos pesados en el equipo pueden contaminar el asfalto recuperado y afectar sus propiedades de ensayo. También es necesario usar anillos de filtro nuevos, capas de fieltro limpias u otros medios de filtrar, no contaminados, en los procesos de extracción para evitar contaminación de extracciones previas.

Generalmente el asfalto en las mezclas se endurece progresivamente cuando se expone al aire, particularmente si las mezclas están en condición suelta. Es importante proteger las mezclas de asfalto de exposición al aire y preferentemente almacenarlas en recipientes herméticos a temperaturas bajo 0°C (22°F) hasta que ellos puedan ser ensayados. Cuando las muestras se calientan para preparar ensayos de extracción de acuerdo con el método 8.302.36, ellas deben colocarse en un horno y recipientes tapados y calentados a una temperatura máxima de 110°C (200°F) por el tiempo mínimo necesario para obtener trabajabilidad, pero no más de 30 minutos. Si las muestras han sido almacenadas a baja temperatura, a ellas se les debe permitir que alcancen la temperatura ambiente antes de colocarlas en el horno.

## **6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** El procedimiento completo, desde el comienzo de la extracción hasta el final de la recuperación, deberá ser completado en menos de 8 h.

**6.2** Centrifugue la solución previamente extraída por un mínimo de 30 min con una fuerza de 770 unidades de gravedad, en los frascos de boca ancha de 240 ml o en los tubos centrífugos, en el aparato ya descrito.

**6.3** Concentre la solución hasta obtener aproximadamente 200 ml, por medio de cualquier operación de destilación primaria, usando un matraz con capacidad suficiente para retener toda la solución de la extracción o comience la destilación en el aparato que se muestra en la Lámina 8.302.34.A, colocando el embudo de separación, en lugar del termómetro, dentro del tapón de corcho en el matraz de destilación. Coloque el tubo de goma con su tapón de vidrio (2.3) en el extremo del tubo de aireación para prevenir el efecto de sifón.

**6.4** Prosiga destilando continuamente, añadiendo el resto de la solución a través del embudo de separación. Cuando la solución proveniente de la destilación primaria o de la destilación continua sea transferida completamente al matraz de 250 a 500 ml, reemplace el embudo de separación por el termómetro y continúe la destilación hasta que la temperatura alcance 135° C, aproximadamente. En ese momento deje fluir una cantidad de CO<sub>2</sub> con una razón de admisión baja para evitar la formación de espuma. Cuando la temperatura alcance de 157 a 160°C, aumente la razón de admisión del CO<sub>2</sub> a 900 ml/min aprox. Manténgase el flujo de gas de CO<sub>2</sub> a una temperatura de 160 a 166°C, por 15 min exactamente. El ajuste del transformador variable para obtener esta temperatura se puede establecer por ensaye previo, generalmente se puede utilizar una graduación más elevada para la destilación principal,

reduciendo la graduación cuando la mayor parte del solvente se haya vaporizado. En lugar del calentador eléctrico se puede utilizar un baño de aceite, en el cual la temperatura durante la introducción de CO<sub>2</sub> se mantenga entre 8 y 14° C más alta que la temperatura interna.

**6.5** Desmonte el equipo y guarde el asfalto recuperado para utilizarlo en cualquier otro ensaye.

## 7.- Precisión y Sesgo.

**7.1 Precisión.** La información de la base de datos del aprovechamiento de la muestra AMRL (7) desde 1974 a 1992 fue analizada para desarrollar estimaciones de precisión del ensaye (8). La graduación de las capas asfálticas incluidas en el análisis consiste en AC-5, AC-10, AC-15, AC-20, AC30, AC-40, AR-2000 y AR4000, las estimaciones de precisión provistas son aplicables a capas de asfalto no envejecido teniendo propiedades físicas de ensaye entre los siguientes rangos:

- Penetración 25°C	29 a 181
- Viscosidad cinemática 135°C, cSt,	200 a 720
- Viscosidad a 60°C,p	520 a 5320

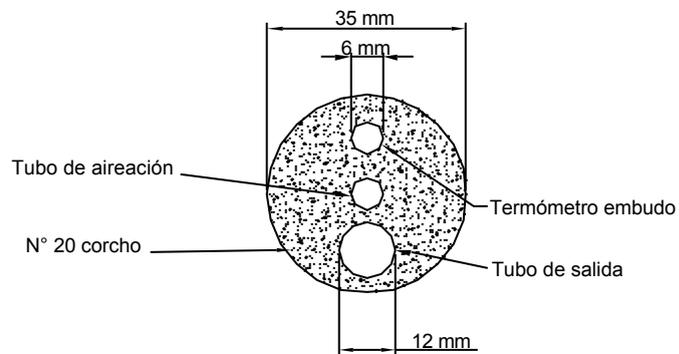
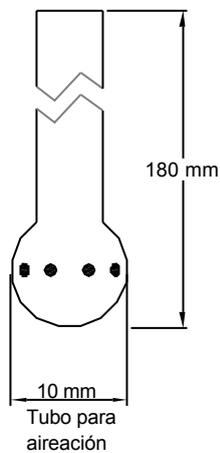
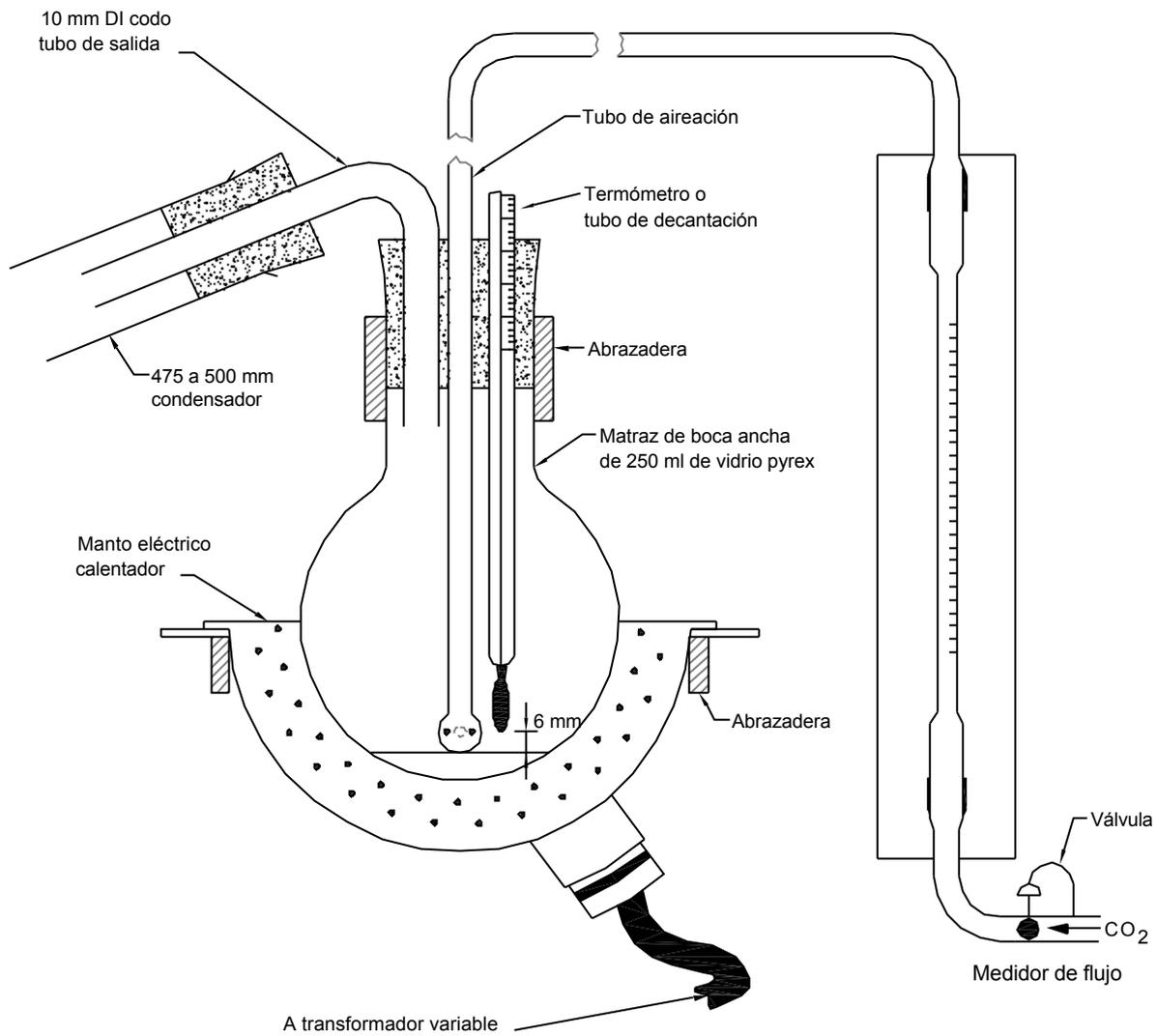
**7.1.1 Precisión de un solo operador.** Los números dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los ensayos y condiciones descritas en la columna 1. Cuando se desarrolla por el mismo operador, sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos, la diferencia en los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente, expresados como un porcentaje de su media, no deberá exceder los valores dados en la columna 3.

Ensaye	Coefficiente de Variación (Porcentaje de la media) (7)	Rango aceptable de dos resultados (Porcentaje de la media) (7)
Precisión de un solo operador		
Penetración 25°C	11	30
Viscosidad Cinemática 135°C, cSt	9	26
Viscosidad a 60°C,p	18	51

**7.1.2 Precisión Multilaboratorio.** Los valores entregados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los ensayos y condiciones descritas en la columna 1. Cuando se desarrolla por diferentes operadores, en diferentes laboratorios, la diferencia en los resultados de dos ensayos desarrollados apropiadamente, expresado como un porcentaje de su media, no deberá exceder los valores dados en la columna 3.

Ensaye	Coefficiente de Variación (Porcentaje de la media) (7)	Rango aceptable de dos resultados (Porcentaje de la media) (7)
Precisión multilaboratorio		
Penetración 25°C	21	58
Viscosidad Cinemática 135°C, cSt	16	46
Viscosidad a 60°C,p	33	93

**7.2 Sesgo.** Ya que a la fecha no hay información para preparar un informe de sesgo, éste no se ha realizado.



## 8.302.35 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE MEDIANTE EL EQUIVALENTE CENTRÍFUGO DE KEROSENE (ECK)

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este procedimiento permite determinar el contenido aproximado de ligante asfáltico de una mezcla bituminosa, usando el equivalente centrífugo de kerosene (ECK). El ECK entrega un índice (K), que indica la rugosidad relativa de las partículas y la capacidad superficial sobre la base de la porosidad.

### 2.- Aparatos

**2.1 Centrífuga Eléctrica.** Capaz de ejercer una fuerza de 400 unidades de gravedad sobre una muestra de 100 g; debe girar a las revoluciones por minuto dada por la fórmula siguiente:

$$\text{rpm} = \sqrt{\frac{14.000.000}{25,4xr}}$$

donde:

r = radio al centro de gravedad de la muestra (mm).

**2.2 Capachos de la Centrífuga.** De 71,5 mm de altura y diámetro 52,5 mm, con una placa perforada de bronce de espesor 0,80 mm con un mínimo de 100 hoyos, de 1,60 mm de diámetro, por cada 645 mm<sup>2</sup>.

**2.3 Balanza.** De 500 g de capacidad y ± 0,01 g de precisión.

**2.4 Embudos de Metal.** Con un diámetro superior a 100 mm, altura de 110 mm, orificio de 12 mm con un trozo de tamiz 2 mm (N° 10) soldado en la parte inferior de la abertura.

**2.5 Vaso.** De vidrio de 1.500 ml.

**2.6 Cronómetro.**

**2.7 Horno o Placa Caliente.** Capaz de obtener 110 ± 5°C.

**2.8 Bandejas.** Planas, circulares, de hojalata de 115 mm de diámetro y 25 mm de profundidad.

### 3.- Materiales

**3.1 Kerosene**

**3.2 Aceite SAE N° 10**

**3.3 Papel Filtro** de 55 mm de diámetro, de velocidad de flujo media y capacidad de carga media.

### 4.- Nomenclatura

**4.1 G:** Grueso; fracción de la muestra que pasa tamiz 10 mm y queda retenida en el tamiz 5 mm.

**4.2 F:** Fino; fracción de la muestra que pasa tamiz 5 mm.

**4.3 K:** Factores cuyos valores se determinan según se describe a continuación: Se identifican como K<sub>c</sub>, K<sub>f</sub> o K<sub>m</sub>.

**4.4 K<sub>c</sub>.** Se determina del porcentaje de aceite SAE N° 10 retenido, que representa el efecto total de las propiedades absorbentes y rugosidad superficial del agregado.

**4.5 K<sub>f</sub>.** Se determina con los siguientes factores:

- a) Porcentaje de kerosene retenido que representa el efecto total del área superficial, propiedades absorbentes y rugosidad superficial del agregado.
- b) Cálculo del área superficial del agregado basado en el tamaño de las partículas.
- c) Porcentaje que pasa tamiz 5 mm (N° 4).

**4.6 K<sub>m</sub>.** Representa la media o valor compuesto de K para una combinación dada de agregados grueso y fino a los cuales se les ha determinado independientemente, en forma previa, K<sub>c</sub> y K<sub>f</sub>.

**4.7 AS Area Superficial.** Sumatoria, en pie<sup>2</sup>/lb, de los productos del porcentaje que pasa por cada tamiz por su factor correspondiente y dividido por 100.

**TABLA 8.302.35.A  
FACTORES DE AREA SUPERFICIAL**

Tamiz (mm)	T. máx	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Factor (pie <sup>2</sup> /lb)	2	2	4	8	14	30	60	160

En el cálculo se deben usar todos los factores; así, si en una muestra pasa el 100% en tamiz 5 mm, en los cálculos se debe incluir 100 x 2 debido al tamaño máximo y 100 x 2 debido al tamiz 5 mm.

**5.- Preparación de la Muestra.**

**5.1** Determine las densidades netas de los agregados grueso (retenido 5 mm) y fino (pasa 5 mm) según Métodos 8.202.19 y 8.202.20, respectivamente.

**5.2** Calcule la densidad neta promedio del agregado de acuerdo a la granulometría:

$$pN = (\% \text{ Grueso} \times pNg + \% \text{ Fino} \times pNf) \times 1/100$$

**5.3** Calcule el área superficial según 4.7.

**5.4** Separe el agregado en dos grupos:

- Pasa 10 mm y retenido en 5 mm.
- Pasa 5 mm.

**6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1 Agregado Fino.**

- a) Cuartee 105 g de material que pasa tamiz 5 mm.
- b) Seque hasta masa constante en un horno o placa caliente a 110 ± 5°C.
- c) Deje enfriar.
- d) Coloque en el capacho, previamente tarado, una masa neta de 100,0 g.
- e) Coloque el capacho con la muestra en una bandeja que contenga kerosene (10 mm de profundidad), hasta que la muestra se sature por capilaridad.
- f) Centrifugue por 2 min a una fuerza de 400 unidades de gravedad.
- g) Pese el capacho con la muestra, aproximando a 0,1 g y reste el peso original. Registre la diferencia como porcentaje de kerosene retenido (basado en 100 g de agregado seco)

**6.2 Agregado Grueso.**

- a) Cuartee 105 g representativos del material que pasa 10 mm y retenido en 5 mm.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en un horno o placa caliente a 110 ± 5°C.

- c) Deje enfriar.
- d) Pese 100,0 g y colóquelos en el embudo.
- e) Sumerja la muestra en aceite SAE N° 10 durante 5 min.
- f) Drene por 2 min.
- g) Coloque el embudo con la muestra en un horno a 60°C y drene por 15 min.
- h) Vierta la muestra del embudo a una bandeja tarada, enfríe y pese aproximando a 0,1 g. Reste el peso original y registre la diferencia como porcentaje de aceite retenido (basado en 100 g de agregado seco).

### 6.3 Cálculo del Contenido de Ligante Asfáltico.

- a) Determinación de  $K_f$ , según la Lámina 8.302.35.A, Figura 1.
  - Si la densidad neta del fino es mayor que 2.700 kg/m<sup>3</sup> corrija el porcentaje de kerosene retenido, mediante la fórmula:

$$ECK_{\text{corregido}} = ECK \times \frac{\rho N_f}{2.650}$$

- Entre en la Lámina 8.302.35.A, Figura 1 con el valor del ECK corregido; siga horizontalmente hasta interceptar el área superficial calculada, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar el porcentaje que pasa tamiz 5 mm, mantenga el punto y siga horizontalmente hasta interceptar  $K_f$ . El valor obtenido es la constante superficial para la fracción que pasa 5 mm.
- b) Determinación de  $K_c$ , según Lámina 8.302.35.A, Figura 2.
  - Si la densidad neta del grueso es mayor que 2.700 kg/m<sup>3</sup> o menor que 2.650 kg/m<sup>3</sup>, corrija el porcentaje de aceite retenido mediante la fórmula:

$$\% \text{Aceite Retenido Corregido} = \% \text{Ac. ret.} \times \frac{\rho N_g}{2.650}$$

- Entre en la Lámina 8.302.35.B, Figura 2, con el valor del porcentaje aceite retenido corregido, siga verticalmente hasta interceptar la línea diagonal y siga horizontalmente hasta interceptar el valor  $K_c$ . El valor obtenido es la constante superficial para la fracción retenida en 5 mm.
- c) Determinación de  $K_m$ , Lámina 8.302.35.B, Figura 3.
  - $K_m = K_f + \text{"corrección a } K_f\text{"}$ .
  - La "corrección a  $K_f$ ", obtenida de la Lámina 8.302.35.B, Figura 3, es positiva si  $(K_c - K_f)$  es positivo y es negativa si  $(K_c - K_f)$  es negativo.
  - Entre en la Lámina 8.302.35.B, Figura 3 con el área superficial, siga horizontalmente hasta interceptar el porcentaje de agregado grueso, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar la diferencia  $(K_c - K_f)$ , mantenga el punto, siga horizontalmente hasta interceptar la corrección a  $K_f$ .
- d) Determinación del contenido de Ligante asfáltico aproximado ( Lámina 8.302.35.B, Figura 4)  
Entre en la Lámina 8.302.35.B, Figura 4 con el área superficial, siga horizontalmente hasta interceptar la densidad neta, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar  $K_m$ , mantenga el punto y siga horizontalmente hasta interceptar la razón de aceite. El valor obtenido es el contenido de ligante asfáltico para asfaltos líquidos RC - 250, MC - 250 y SC - 250. Para asfaltos líquidos más pesados o cementos asfálticos se debe efectuar una corrección.

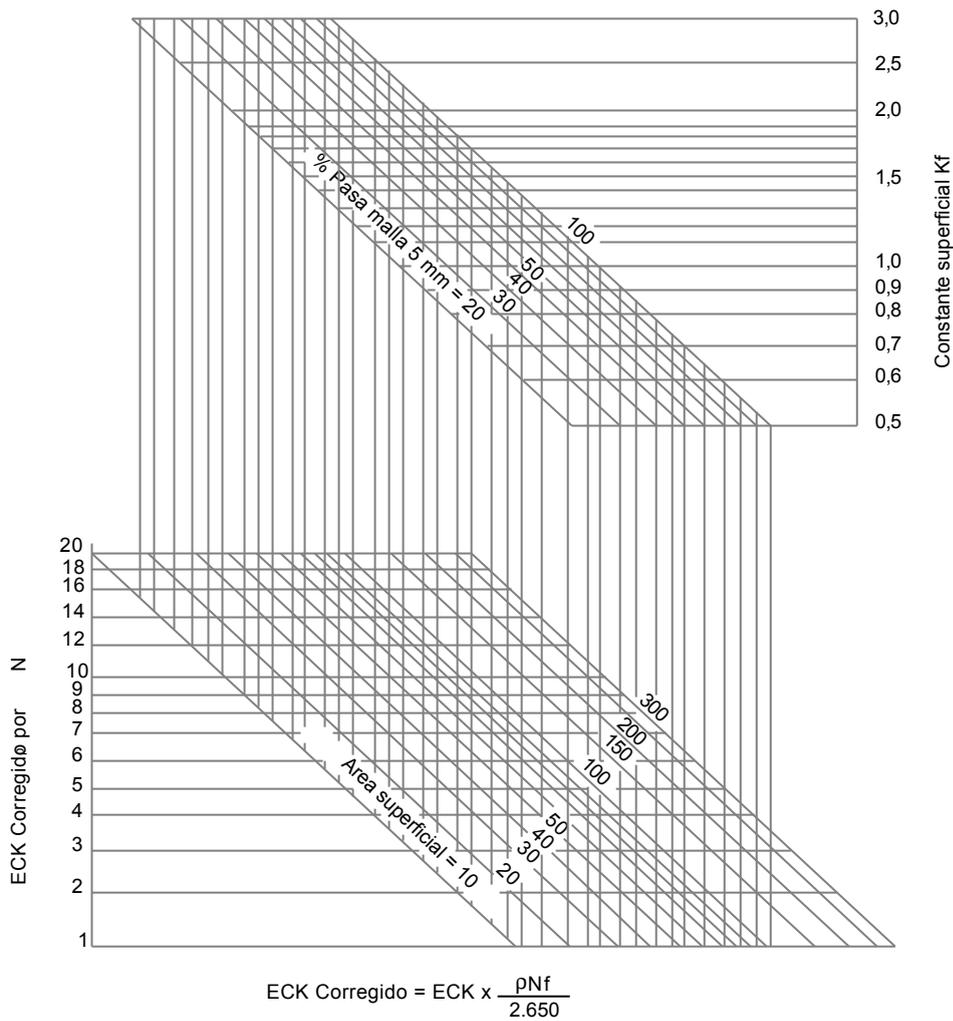


Figura 1.

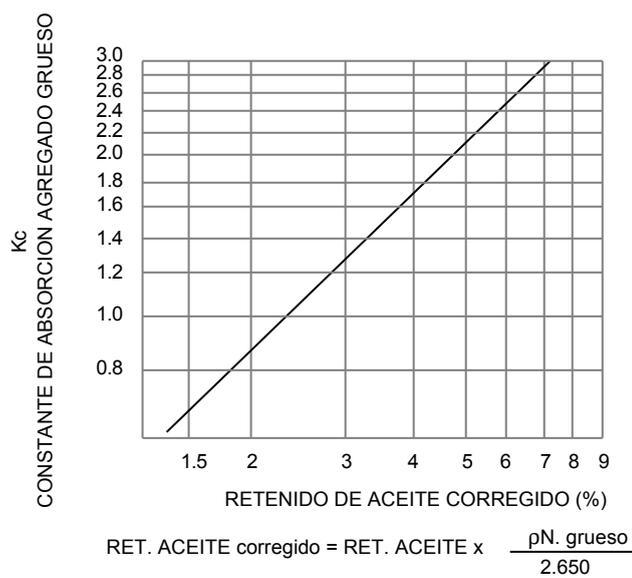


Figura 2.

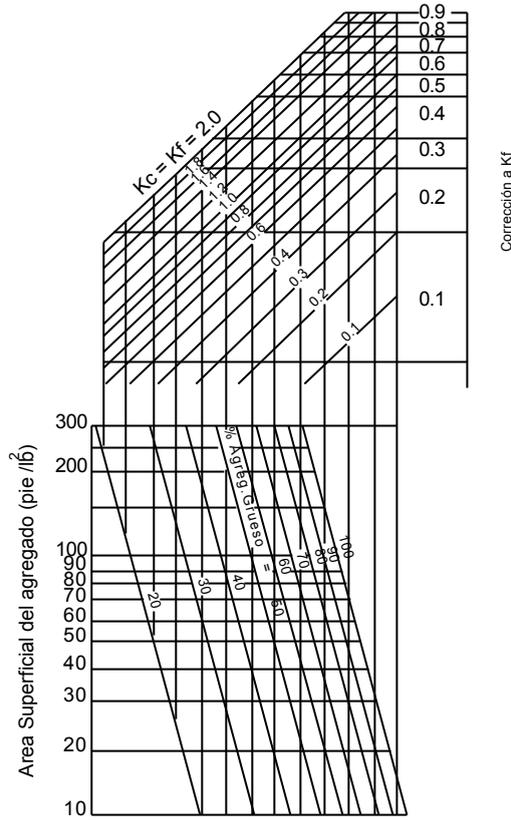


Figura 3.

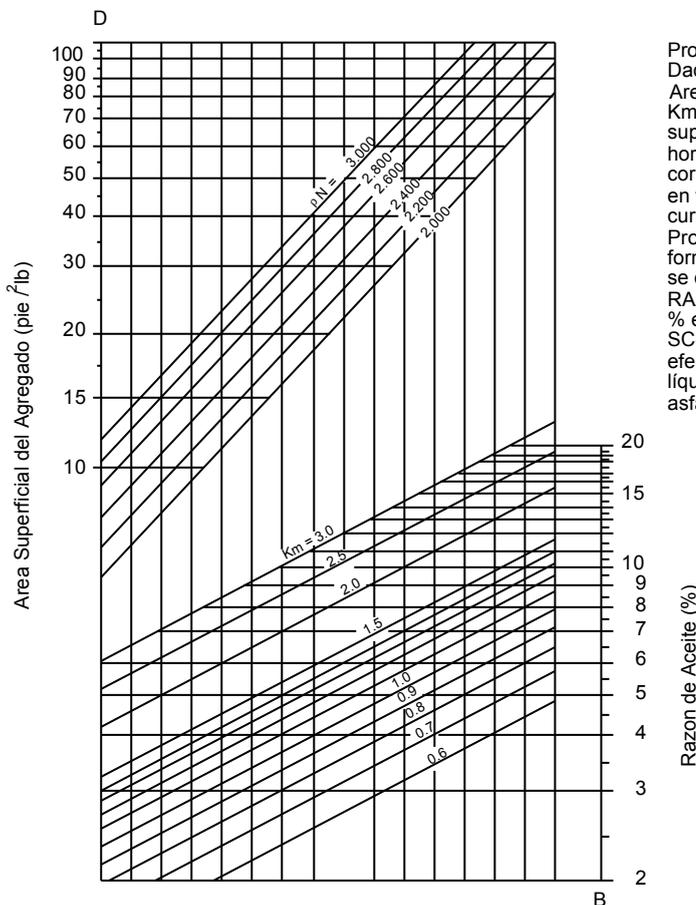


Figura 4.

Procedimiento.

Dadas:

Area superficial, densidad neta y  $K_m$  del agregado, encuentre el area superficial en la escala D. En forma horizontal interseccione el valor correspondiente a  $pN$ . En seguida en forma vertical encuentre la curva correspondiente a  $K_m$ .

Procediendo de igual manera en forma horizontal hasta la escala B, se obtiene la razón de aceite.

RAZON DE ACEITE, corresponde al % en peso de asfalto del tipo SC-250, MC-250 y RC-250. Debe efectuarse una corrección para líquidos más pesados o cementos asfálticos.



### **8.302.36 ASFALTOS: METODO PARA SEPARAR EL LIGANTE DE UNA MEZCLA ASFALTICA O TESTIGO, POR CENTRIFUGACION, PARA POSTERIOR ENSAYE DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE ASFALTICO**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** El Método describe los procedimientos para obtener el ligante asfáltico de una mezcla o testigo, mediante el proceso de centrifugación, utilizando una cantidad ajustada de tricloroetileno, para posterior ensaye de recuperación del ligante asfáltico.

#### **2.- Referencias.**

- Método 8.302.27 Asfaltos: Método de Muestreo de Mezclas.
- Método 8.302.29 Asfaltos: Método para Determinar Humedad o Volátiles en Mezclas.

**3.- Resumen del Método.** El ligante asfáltico de la mezcla se extrae con solvente, usando una centrífuga. El contenido de ligante asfáltico se calcula por diferencia entre la masa inicial de la muestra y la masa del agregado recuperado, efectuando las correcciones correspondientes por humedad y contenido de cenizas.

#### **4.- Equipos y Materiales.**

**4.1 Extractor:** consiste en un bol similar o mayor al que se muestra en la Lámina 8.302.36.A y un aparato, dentro del cual pueda girar el bol a una velocidad variable y controlada, hasta 3.600 rpm. El aparato debe estar provisto de un contenedor que recoja el solvente despedido por el bol y un drenaje para evacuar el solvente. De preferencia, el aparato debe tener características antiexplosivas y debe instalarse debajo de una campana para tener una adecuada ventilación.

**4.2 Papel Filtro Anular:** de porosidad media y diámetro igual al del bol. El contenido de cenizas del papel no podrá exceder 0,2% de su masa.

**4.3 Horno:** capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**4.4 Balanzas:** de 1 g y 0,01 g de resolución.

**4.5 Probetas Graduadas:** de 1.000 y 2.000 ml de capacidad.

**4.6 Crisol:** consistente en una cápsula de metal o porcelana de 125 ml de capacidad.

**4.7 Mufla o Mechero a Gas:** capaz de mantener temperaturas entre 500 y 600° C.

**4.8 Solución Saturada de Carbonato de Amonio:** grado reactivo.

**4.9 Tricloroetileno:** grado técnico.

**5.- Medidas de Seguridad.** Todos los solventes orgánicos son tóxicos en algún grado, por lo que se debe estar provisto de muy buena ventilación en todos los casos.

Como medidas de seguridad, se deben utilizar delantal de protección, zapatos de seguridad, protección ocular, guantes resistentes a los solventes, máscara de protección respiratoria con filtro para vapores orgánicos y elementos para controlar derrames, además de contar con extintores (tipo ABC) y letrero con información de emergencia.

Las medidas citadas no pretenden señalar todos los problemas de seguridad asociados con el uso de solventes. Es responsabilidad del laboratorio y su personal establecer la seguridad apropiada y las prácticas de salud, antes de su uso.

## 6.- Preparación de la Muestra.

**6.1** Si la mezcla no está lo suficientemente blanda como para separarla con una espátula, colóquela en una bandeja plana y caliéntela a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta que sea manipulable.

**6.2** La muestra de ensaye, normalmente, debe ser el resultado final del cuarteo de una muestra obtenida según Método 8.302.27 Asfaltos: Método de Muestreo de Mezclas. El tamaño de la muestra de ensaye debe definirse de acuerdo con el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado, tal como se muestra en la Tabla 8.302.36.A.

**TABLA 8.302.36.A**  
**TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE.**

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de muestra (g)
5	500
10	1.000
12,5	1.500
20	2.000
25	3.000
40	4.000

**Nota 1:** En el caso de testigos, las masas mínimas de muestra por considerar para TMN 12,5 mm y TMN 20 mm serán de 650 g y 1.300 g, respectivamente.

**Nota 2:** Si el tamaño mínimo de la muestra de ensaye es mayor que la capacidad del extractor, divídala en porciones iguales. Para los cálculos, sume las masas análogas de las distintas porciones.

**7.- Determinación del Contenido de Humedad.** Previo al ensaye de extracción, seque la muestra hasta masa constante en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**Nota 3:** En caso que se necesite analizar el ligante asfáltico recuperado en la solución, determine el contenido de humedad (w) de la muestra de acuerdo con el Método 8.302.39 y calcule luego la masa de agua en la muestra.

## 8.- Procedimiento de Ensaye.

**8.1** Una vez seca la muestra de acuerdo con lo descrito en el punto 6, pésela y registre su masa como  $M_1$ ; deberá cumplir con lo indicado en la Tabla 8.302.36.A.

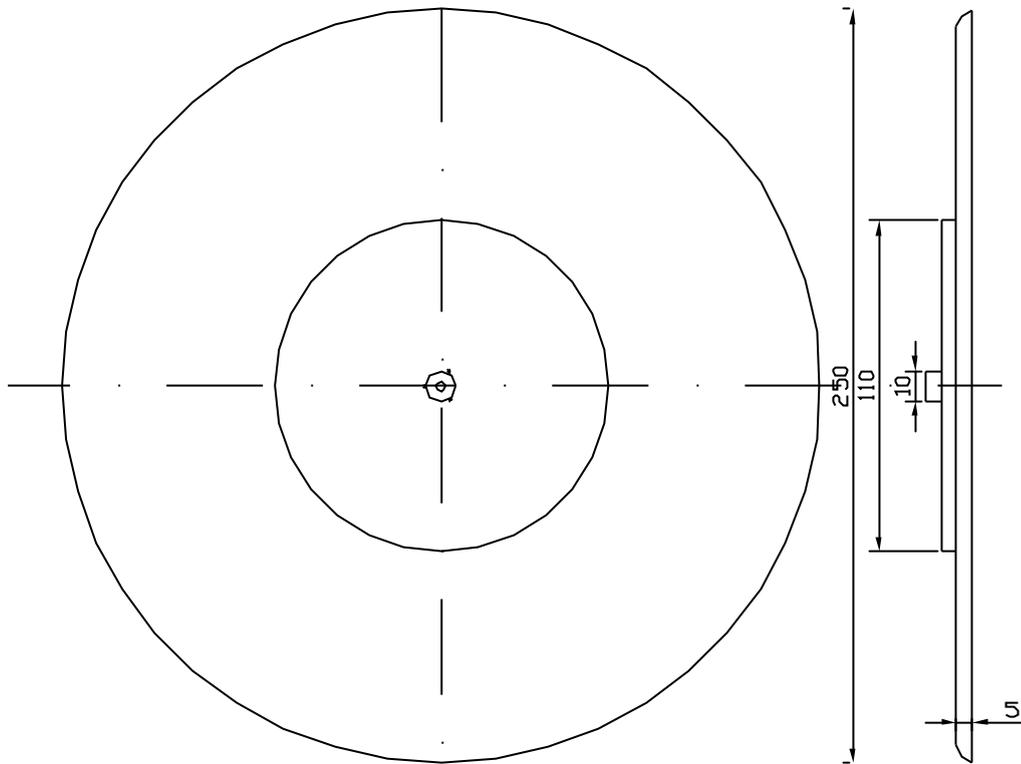
**8.2** Coloque la muestra en un bol y cúbrala con el solvente a utilizar. Espere el tiempo necesario para que el solvente disgregue la muestra (máximo 1 h). Ponga bajo el tubo de drenaje un recipiente (vaso) para recoger el extracto.

**8.3** Seque el filtro, colóquelo luego alrededor del borde del bol y cierre la cubierta herméticamente.

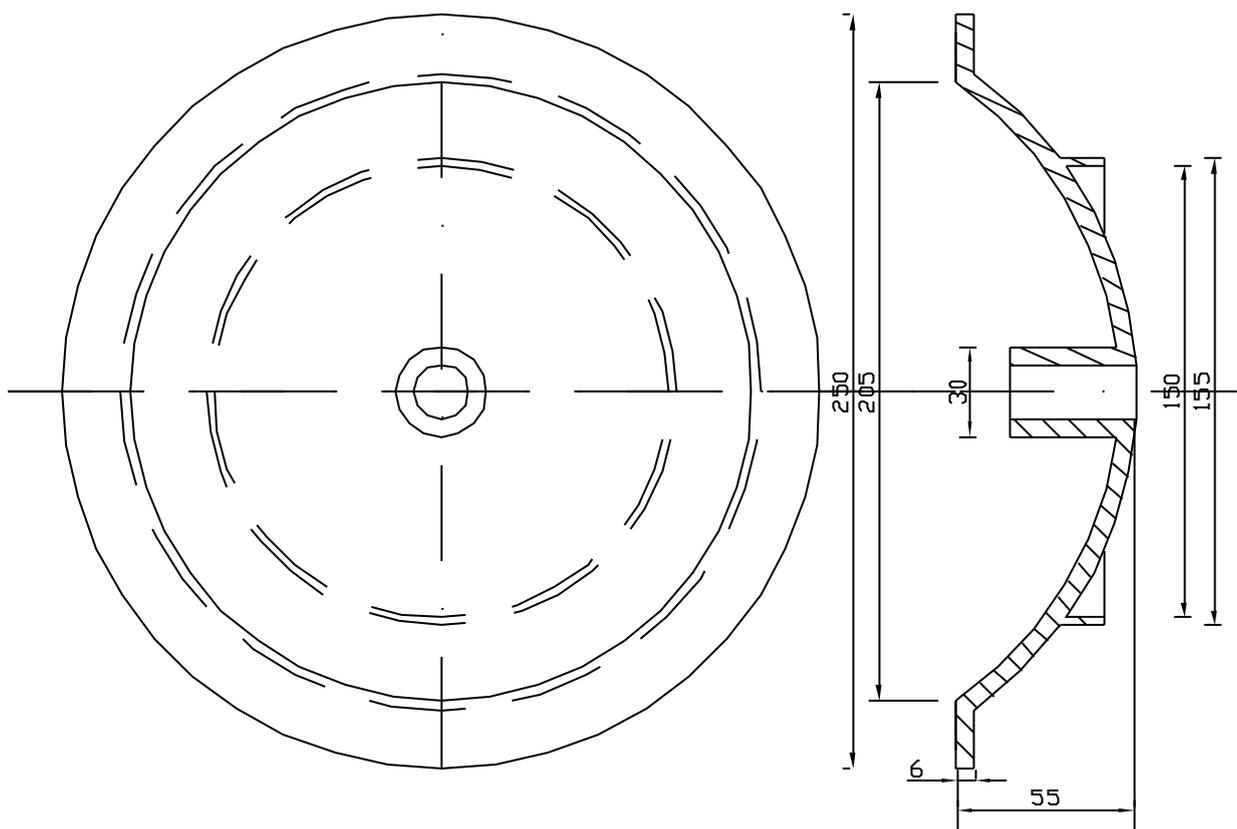
**8.4** Haga funcionar la centrífuga, aumentando lentamente la velocidad, hasta un máximo de 3.600 rpm; deténgala una vez que el solvente deje de fluir, recibéndolo en un recipiente de capacidad adecuada.

**9.- Continúe con el ensaye Abson (8.302.34) u otro método para recuperación de ligante asfáltico.**

TAPA DE ALUMINIO FUNDIDO Y PULIDA



BOL DE ALUMINIO FUNDIDO Y PULIDO





## 8.302.37 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MAXIMA DE MEZCLAS ASFALTICAS SIN COMPACTAR\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25°C, así como el porcentaje de ligante absorbido por los agregados de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma.

\*El Método 8.302.37 es una adaptación de la norma ASTM D 2041 – 95.

### 2.- Referencias.

- Método 8.302.27 Asfaltos: Método de Muestreo de Mezclas.

### 3.- Aparatos.

#### 3.1 Recipientes para Vacío.

- a) Se describen cuatro tipos de recipiente para vacío, cada uno de los cuales deberá ser capaz de mantener el vacío requerido, para lo que deberá disponer de los accesorios necesarios para la aplicación del procedimiento.
- b) El tamaño del recipiente por usar dependerá de la cantidad mínima de muestra, de acuerdo a la Tabla 8.302.37.A incluida en 5.
- c) Descripción de los recipientes:
  - Tipo A : matraz aforado de vidrio con capacidad aproximada de 2.000 ml.
  - Tipo B : picnómetro de vidrio con capacidad aproximada de 4.000 ml.
  - Tipo C : picnómetro de metal con tapa transparente y capacidad aproximada de 4.500 ml.
  - Tipo D : picnómetro plástico con capacidad mínima de 10.000 ml.

#### 3.2 Balanzas.

- a) Balanza de capacidad 5.000 g y resolución 0,1 g.
- b) Balanza de capacidad 30.000 g y resolución 1 g.

**3.3 Bomba de Vacío.** Capaz de producir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

**3.4 Manómetro de Presión Residual.** Capaz de medir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

**3.5 Baño de Agua.** Capaz de controlar y mantener una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

**3.6 Horno.** Horno de convección forzada; capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

**3.7 Otros.** Bol, espátula, piseta, vaselina sólida, termómetro y agua destilada.

### 4.- Calibración de Recipientes.

**4.1 Recipientes Tipos A y B.** Consiste en determinar a 25°C la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Llene el picnómetro con agua destilada a 25° C.
- b) Mantenga el recipiente en un baño de agua a 25° C durante 1 h.
- c) Seque cuidadosamente el recipiente y péselo.
- d) Designe la masa del picnómetro lleno con agua como MPa.

**4.2 Recipientes Tipos C y D.** Consiste en determinar, a una temperatura entre 22 y 27° C, la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Asegure la cubierta y llene el picnómetro con agua destilada a 25° C hasta casi el tope (deje libre aproximadamente 50 mm).
- b) Aplique vacío por 10 min, levante el picnómetro, primero de un lado y luego del otro, y déjelo caer desde aproximadamente 10 mm sobre la superficie.
- c) Agregue agua destilada a 25° C hasta llenar completamente el picnómetro.
- d) Elimine las burbujas que queden adheridas en las paredes interiores del recipiente.
- e) Seque prolijamente el exterior del picnómetro.
- f) Pese el picnómetro lleno con agua y designe su masa como MPa.
- g) Registre la temperatura del agua. Si ésta difiere del rango 22 - 27° C, repita el procedimiento de calibración.

**Nota 1:** La calibración de los recipientes debe chequearse periódicamente. El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier contaminación. Se deben utilizar solventes adecuados, especialmente cuando se trate de recipientes plásticos. Los recipientes de vidrio no deben someterse a altos niveles de vacío si se encuentran dañados.

**5.- Tamaño de la Muestra de Ensaye.** El tamaño de la muestra de ensaye deberá estar de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del agregado, según lo indicado en la Tabla 8.302.37.A.

**TABLA 8.302.37.A  
TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE**

<b>TMN Agregado (mm)</b>	<b>Masa Mínima de Muestra (g)</b>
40	4.000
25	2.500
20	2.000
12,5	1.500
10	1.000
5	500

**6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** Separe manualmente las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar el agregado, de modo que las partículas de la fracción de agregado fino no sean mayores que 5 mm. Si la mezcla no está lo suficientemente blanda para ser separada, colóquela en un horno y caliéntela sólo hasta que sea manipulable.

**6.2** Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente.

**6.3** Pese la muestra y registre esta masa como Mm.

**6.4** Coloque la muestra en el recipiente y agregue agua destilada hasta casi el tope de éste.

**6.5** Aplique vacío por 10 min, agitando su contenido periódicamente con un vibrador mecánico o en forma manual de acuerdo a 4.2 b).

**6.6** Inmediatamente después de remover el aire atrapado, continúe con uno de los siguientes procedimientos según el tipo de recipiente a utilizar:

- a) Recipientes tipos A y B:
  - Llene completamente el recipiente con agua destilada y colóquelo en un baño de agua a 25° C.
  - Una vez alcanzada la temperatura de 25° C, deje el conjunto otros 10 min dentro del baño.
  - Saque el recipiente del baño y séquelo exteriormente.

- Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.
- b) Recipientes tipos C y D:**
  - Llène completamente el recipiente con agua destilada a 25° C.
  - Seque el exterior del recipiente.
  - Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.
  - Registre la temperatura del agua; si no está en el rango de 22 a 27° C, repita el ensaye.

**Nota 3:** El tiempo empleado para llenar y secar cualquiera de los recipientes ( A, B, C o D ) debe ser igual al ocupado en la calibración, con una tolerancia de  $\pm 1$  min.

**7.- Cálculos.** Determine la densidad máxima de la mezcla sin compactar mediante la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{M_m}{M_m + M_{Pa} - M_{Pam}} \rho_T$$

donde:

- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla sin compactar ( $kg/m^3$ )
- $M_m$  : Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)
- $M_{Pa}$  : Masa del recipiente lleno con agua (g)
- $M_{Pam}$  : Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)
- $\rho_T$  : Densidad del agua a la temperatura de ensaye ( $kg/m^3$ ). Ver Tabla 8.302.37.B.

**TABLA 8.302.37.B**  
**DENSIDAD DEL AGUA A DISTINTAS TEMPERATURAS**

Temperatura (°C)	$\rho_T$ ( $kg/m^3$ )
22	997,8
23	997,6
24	997,3
25	997,1
26	996,8
27	996,5

**8.- Procedimiento de Ensaye para Mezclas que Contienen Agregados Porosos no Cubiertos Completamente.**

**8.1** Si los poros no están totalmente sellados por una película bituminosa, se pueden saturar con agua durante el proceso de vacío. Para determinar si esto ha ocurrido, proceda como se indica a continuación, una vez terminado el procedimiento indicado en 6.6 a) ó b), según corresponda.

**8.2** Drene el agua de la mezcla con extrema precaución evitando la pérdida de agregado (Se puede utilizar un tamiz N° 200 para estos efectos).

**8.3** Fracture algunas partículas de agregado y examine visualmente si están húmedas.

- a)** Si el agregado no ha absorbido agua, deseche la muestra.

- b) Si el agregado ha absorbido agua, remueva la humedad superficial utilizando un horno con convección forzada o ventilador, revolviendo la mezcla intermitentemente. Cuando la pérdida de masa sea menor que 0,05%, detenga el secado y registre la masa alcanzada por la muestra como Mmss.
- c) Calcule la densidad máxima de la mezcla con agregados porosos no cubiertos completamente, de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{M_m}{M_{mss} + M_{Pa} - M_{Pam}} \rho_T$$

donde:

D <sub>mm</sub>	:	Densidad máxima de la mezcla sin compactar (kg/m <sup>3</sup> )
M <sub>m</sub>	:	Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)
M <sub>mss</sub>	:	Masa de la muestra con superficie seca (g)
M <sub>Pa</sub>	:	Masa del recipiente lleno con agua (g)
M <sub>Pam</sub>	:	Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)
ρ <sub>T</sub>	:	Densidad del agua a la temperatura de ensaye (kg/m <sup>3</sup> ). Ver Tabla 8.302.37.B.

**9.- Expresión de Resultados.** El resultado del ensaye será el valor promedio de tres determinaciones, aproximando al entero.

**10.- Precisión.** El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de densidad obtenidos mediante este método, es el siguiente:

	Rango de aceptabilidad para dos resultados* (kg/m <sup>3</sup> )
Precisión para un operador	11
Precisión para conjunto de laboratorios	19

\* Válido para resultados de ensaye obtenidos sin hacer uso de 8.302.370.8.

\* Base de estimación: 3 determinaciones, 5 materiales, 5 laboratorios.

\* Los valores anotados corresponden a las diferencias máximas permisibles para dos resultados de un mismo ensaye.

**11.- Informe.** El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- Densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>).
- Tipo de mezcla.
- Tamaño de la muestra.
- Número de muestras.
- Tipo de recipiente.
- Procedimiento empleado.
- Contenido de asfalto (% referido al agregado seco) para muestras preparadas en laboratorio.

## **8.302.38 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece procedimientos para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

### **2.- Terminología.**

**2.1 Densidad ( $\rho$ ).** De acuerdo con NCh 22, es el cociente entre la masa ( $m$ ) de una substancia y su volumen ( $v$ ) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

**2.2 Densidad Real (G).** Densidad en que se considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles.

**2.3 Secado hasta Masa Constante.** Límite de secado a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$ , en que dos pesadas sucesivas difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada. La muestra debe dejarse en horno a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 12 h y luego pesarse cada 2 h.

**3.- Resumen del Procedimiento.** Se determina la masa de la probeta por pesada al aire ambiente en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Se determina el volumen por diferencia entre pesadas al aire ambiente y sumergida en agua.

Se calcula la densidad real de la probeta de acuerdo a los valores obtenidos.

### **4.- Aparatos.**

**4.1 Balanza.** De 2.000 g de capacidad mínima, sensibilidad 0,1 g y una precisión de 0,2 g. (Los términos capacidad y precisión de una balanza están definidos en NCh 1075). Debe estar equipada con un aparato de suspensión adecuado que permita pesar la probeta mientras está suspendida del centro de la balanza.

**4.2 Baño de Agua.** Que permita sumergir la muestra mientras está suspendida bajo la balanza, equipado con una válvula de desborde que mantenga constante el nivel de agua.

### **5.- Muestras de Ensaye.**

**5.1** Las muestras de ensaye pueden ser mezclas asfálticas moldeadas en el laboratorio o cortadas directamente del pavimento.

**5.2** Para el tamaño de la probeta se recomienda lo siguiente:

- a)** Que el diámetro de las probetas cilíndricas o la longitud de las probetas aserradas sea a lo menos cuatro veces el tamaño máximo del agregado.
- b)** Que el espesor o largo de la probeta sea a lo menos una y media veces el tamaño máximo del agregado.

**5.3** Tome las muestras de pavimentos con brocas o sierras diamantadas o cualquier otro medio adecuado.

**5.4** Separe las distintas capas mediante aserrado u otro medio adecuado.

## Método A: Probetas Cubiertas con Parafina.

### 6.- Procedimiento de Ensaye.

**6.1 Masa de la Probeta sin Parafina.** Pese la probeta en aire después de secarla hasta masa constante. Designe esta masa como A.

**6.2 Masa de la Probeta en Aire con Parafina.** Cubra la probeta de ensaye, en toda su superficie, con parafina derretida con un espesor suficiente para sellar todos los huecos superficiales. Deje que el recubrimiento se enfríe al aire a temperatura ambiente durante 30 min y luego pese la probeta. Designe esta masa como D.

**Nota 1:** La aplicación de la parafina se puede lograr mejor enfriando la probeta en un refrigerador hasta una temperatura de aproximadamente 4,5°C por 30 min y luego sumergiéndola en parafina tibia ( 5,5° C sobre el punto de fusión). Puede ser necesario repasar la superficie con una brocha con parafina caliente para llenar los vacíos más pequeños. Si se desea usar la probeta en otros ensayos que requieran el desprendimiento del cubrimiento de parafina, puede cubrirse la muestra con talco en polvo antes de colocarle la parafina.

**6.3 Masa de la Probeta con Parafina en Agua.** Pese la probeta con parafina en un baño de agua a 25 ± 1°C. Designe esta masa como E.

**6.4 Densidad de la Parafina.** Determine la densidad de la parafina a 25° C y designela como  $\rho_p$ . Al adoptar un valor típico de 0,91 g/cm<sup>3</sup> el error es prácticamente despreciable.

7.- **Cálculos.** Calcule la densidad de la probeta con la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{(D-E)}{\rho_w} - \frac{(D-A)}{\rho_p}} \times 1.000 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

donde:

- A : Masa de la probeta seca en aire (g)
- D : Masa de la probeta seca más parafina en aire (g)
- E : Masa de la probeta seca más parafina en agua (g)
- $\rho_p$  : Densidad de la parafina (25°C) ± 1 g/cm<sup>3</sup>
- $\rho_w$  : Densidad del agua (1,0 g/cm<sup>3</sup>)

## Método B: Probetas con Superficie Saturada Seca.

### 8.- Procedimiento de Ensaye.

**8.1** Seque la probeta hasta masa constante. Enfríela hasta temperatura ambiente (25 ± 1°C) y registre la masa seca como A.

**8.2** Sumerja en un baño de agua a 25 ± 1° C por 3 a 5 min, y registre esta masa como C.

**8.3** Saque la probeta del agua y séquela con una toalla húmeda. Designe esta masa como B.

**8.4** Determine el porcentaje de agua absorbida con la siguiente expresión:

$$A_{ab} = \frac{B - A}{B - C} \times 100$$

Si  $A_{ab}$  es mayor que 2, emplee el método A.

**9.- Cálculos.** Calcule la densidad de acuerdo a la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{B - C}{\rho_w}} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

donde:

- A : Masa de la probeta en aire (g).
- B : Masa de la probeta en aire con superficie seca (g).
- C : Masa de la probeta en agua (g)

**Método C : Geométrico (sólo para mezclas de graduación abierta; porcentaje de huecos superior a 15)**

**10.- Procedimiento de Ensaye.**

**10.1** Determine la densidad de una muestra de formas regulares en base a su masa (kg) y su volumen medio en forma geométrica (m<sup>3</sup>).

**10.2** Determine las dimensiones de la probeta basado en el promedio de cuatro medidas, como mínimo, por dimensión.



### **8.302.39 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLATILES EN MEZCLAS ASFALTICAS \***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar, por medición directa, la humedad o fracciones volátiles del asfalto en mezclas de pavimentos bituminosos.

\*El Método 8.302.39 es una adaptación de la norma AASHTO T 110 – 70.

#### **2.- Aparatos.**

**2.1 Destilador Metálico.** Un destilador cilíndrico vertical, similar al usado en ensayos de emulsiones asfálticas, con una pestaña pulida en la parte superior, en la que se adhiere la tapa bien cerrada con una abrazadera. Tapa de metal, de preferencia de cobre o bronce, provista de un tubo de diámetro interior de 25 mm (1").

**2.2 Condensador.** De tipo reflujo, con tubo de vidrio enfriado por agua, con una camisa para condensar, de largo no menor que 400 mm, con un tubo interior de 10 a 12 mm de diámetro exterior.

El extremo del condensador se conecta en la trampa y debe tener un ángulo hacia abajo de 30° desde el eje vertical del condensador. Para mezclas con solventes muy volátiles puede ser necesario ayudarse con un segundo condensador de aproximadamente la misma dimensión.

**2.3 Trampa.** De vidrio bien recocido, de uno de los siguientes tipos, dependiendo del propósito del ensaye.

- a) Para determinar el agua en mezclas de pavimentos bituminosos, use una trampa de vidrio de 10 ó 25 ml de capacidad. Debe estar graduada en divisiones de 0,1 ml con  $\pm 0,05$  ml máximo de error bajo 1 ml, y en divisiones de 0,2 ml con  $\pm 0,1$  ml máximo de error sobre 1 ml.
- b) Para determinar las fracciones volátiles del ligante asfáltico, las dimensiones de la trampa son la que se indican en la Lámina 8.302.39.A .

**2.4 Solvente.** Para uso en general, prefiera un solvente aromático, puesto que tiene alta solvencia y gran poder de dispersión para la mayoría de los materiales bituminosos. El xileno o una mezcla de 20% de benzol y 80% de xileno es recomendable. Para asfaltos y productos similares de petróleo, puede usar un destilado de petróleo, 5% que ebulle entre 90°C y 100° C y 90% que destile bajo 210°C. Para alquitrán, gas, agua de alquitrán y materiales similares, debe usar el solvente aromático.

**2.5 Artefacto calentador.** Cualquier fuente de calor satisfactoria, que sea capaz de mantener una razón de destilación de 85 a 95 gotas/ min.

**3.- Muestra.** La muestra debe ser representativa del material y de tamaño tal, que prácticamente llene el envase en el que se transporta al laboratorio. Para contar con un duplicado, es satisfactorio un envase lleno con 2 litros.

**4.- Preparación de la Muestra.** Mezcle bien la muestra y pese una cantidad, apreciando el porcentaje de humedad o diluyente dentro de la capacidad calibrada de la trampa. Guarde el sobrante de la muestra en el envase bien cubierto.

Es preferible que el peso de la muestra no sea menor de 500g para mezclas normales. Desmenúcela bien, hasta que no tenga terrones y colóquela en el destilador.

## 5.- Procedimiento de Ensaye para Determinar la Humedad.

5.1 Después que haya colocado la muestra en el destilador, agregue 200 ml del solvente y revuelva rápidamente, tape firmemente el destilador y arme la trampa y el condensador. Aplique calor, de manera que el reflujo comience dentro de los 5 a 10 min después que el calor haya sido aplicado y que el solvente condensado gotee dentro de la trampa a razón de 85 a 95 gotas/min. Continúe la destilación hasta que, después de 3 lecturas sucesivas con intervalos de 15 min, no haya incremento en la cantidad de agua condensada, excepto en el caso de que la destilación continúe por más de 1,5 h.

5.2 Anote el volumen de agua en la trampa y calcule en porcentaje por masa de muestra tomada.

## 6.- Procedimientos de Ensaye para Determinar Destilados Volátiles.

6.1 Después que ha colocado la muestra en el destilador, agregue 350 ml de agua y aproximadamente 3 g de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y revuelva rápidamente la muestra. Sujete firmemente la tapa del destilador y arme la trampa y condensador, excepto que la trampa a usar debe ser la de dilución especificada en punto 2.3 b) de este Método.

6.2 Aplique calor, de manera que el reflujo del agua y solvente comience entre 5 a 10 min después de aplicar el calor y gotee del condensador a razón de 85 a 95 gotas/ min. En caso de que la muestra contenga una gran cantidad de solvente muy volátil, puede ser necesario agregar un segundo condensador sobre el primero o bien reducir la razón de destilación, para poco más o menos, prevenir un escape del solvente.

6.3 Continúe la destilación hasta que en tres sucesivas lecturas de los niveles superior e inferior del diluyente con 15 min de intervalo, no se observe incremento en la cantidad acumulada. Entonces, retire la fuente de calor y no mueva el aparato durante 30 min, para permitir que el solvente se enfríe y se separe.

6.4 Anote el volumen del diluyente en la trampa y calcule e informe en porcentaje, por masa de muestra tomada, usando la densidad del diluyente a 25°C.

## 7.- Cálculos.

### 7.1 Cálculo de la humedad contenida

$$\text{Agua (\%)} = (A/B) \times 100$$

donde:

A : Volumen de agua en trampa  
B : Masa de muestra

### 7.2 Cálculo del contenido de volátil destilado:

$$\text{Destilado (\%)} = C \times (D/E) \times 100$$

donde:

C : Volumen de destilado en trampa  
D : Densidad de destilado, a 25°C  
E : Masa de la muestra

## 8.- Informe.

8.1 Informe los resultados de contenido de humedad, como porcentaje en peso, de acuerdo con 7.1

8.2 Informe los resultados de contenido de solvente destilado, como porcentaje en peso, de acuerdo con 7.2.

## 9.- Precisión.

**9.1** Precisión para la determinación de humedad. El siguiente criterio puede ser aplicado para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad) cuando se usan trampas de 10 ml ó 25 ml.

**9.1.1 Repetibilidad.** La determinación en duplicado de humedad por un mismo operador puede ser considerada dudosa si los resultados difieren en más de los siguientes valores.

Agua recolectada

0,0 - 1,0 ml	0,1 ml
1,1 - 25 ml	0,1 ml ó 2% de la media

**9.2 Reproducibilidad.** Los resultados obtenidos por cada uno de dos laboratorios pueden considerarse dudosos si ellos difieren en más de las siguientes cantidades:

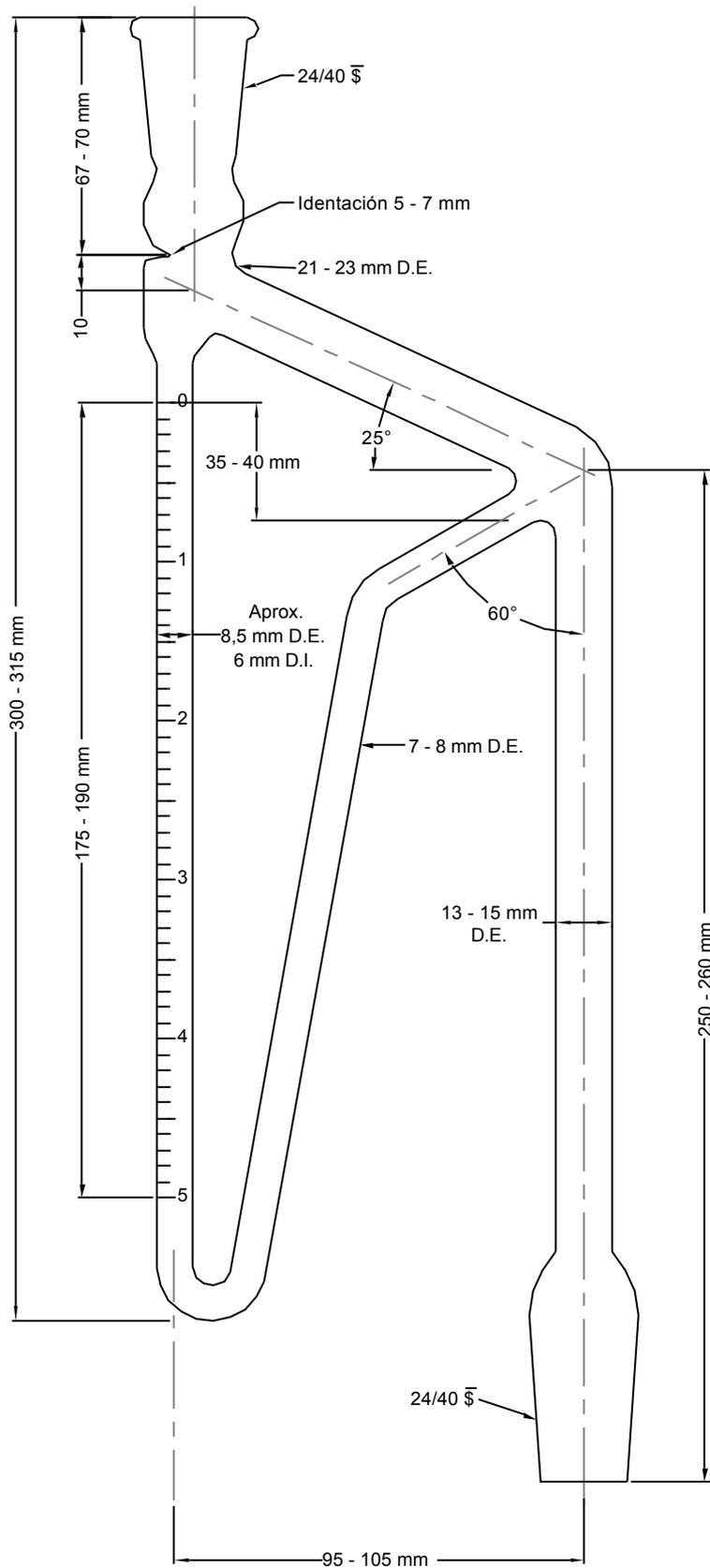
Agua recolectada

0,0 - 1,0 ml	0,2 ml
1,1 - 25 ml	0,2 ml ó 10% de la media

**9.2 Precisión para la Determinación de Destilado de Volátil.** La precisión de este Método es obtenida por examen estadístico o resultados de ensayos interlaboratorios.

**9.2.1 Repetibilidad.** La determinación en duplicado de destilado por un mismo operador puede ser considerada dudosa si los resultados difieren en más de 0,6 puntos porcentuales volumétricos.

**9.2.2 Reproducibilidad.** Los resultados obtenidos por cada uno de dos laboratorios pueden considerarse dudosos si ellos difieren en más de 1,4 puntos porcentuales volumétricos.



§ = Símbolo para indicar ensambladuras intercambiables, tapones y válvulas que cumplen con los requerimientos de ASTM E675 y ASTM E676

## 8.302.40 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA DE MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con agregado pétreo de tamaño máximo 25 mm.

\*El Método 8.302.40 es una adaptación de la Norma AASHTO T 245 - 82.

### 2.- Equipos.

**2.1 Moldes de Compactación.** Constituidos por una placa base, molde y collar. El molde debe tener un diámetro interior de  $101,6 \pm 0,1$  mm y una altura de 80 mm; la placa base y el collar se diseñan de modo de poder ajustarse a cualquier extremo del molde, conforme a los detalles de la Lámina 8.302.40.A, Figura 1.

**2.2 Extractor.** Que sirva para sacar las probetas del molde; debe estar provisto de un disco desplazador de 100 mm de diámetro por 10 mm de espesor.

**2.3 Martillo de Compactación.** Consiste en una cara circular de 100 mm de diámetro equipada con un peso de  $4.515 \pm 15$  g y construido de modo de obtener una altura de caída  $460 \pm 2$  mm, conforme a los detalles de la Lámina 8.302.40.A, Figura 2. Las condiciones señaladas aseguran la obtención de una energía por caída de 20,75 J.

**2.4 Pedestal de Compactación.** Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm cubierto con una placa de acero de 305 x 305 x 25 mm. El poste va empotrado en hormigón mediante cuatro perfiles ángulo; debe quedar a plomo y la placa de acero debe quedar firmemente afianzada y a nivel. El poste puede ser de roble, pino u otra madera que tenga una densidad seca media de  $0,67$  a  $0,77$  g/cm<sup>3</sup>.

**2.5 Sujetador de Molde.** Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.

**2.6 Mordaza.** Consiste en dos segmentos de cilindro, superior e inferior, con un radio interno de  $51 \pm 0,2$  mm, diseñado según la Lámina 8.302.40.B, para transmitir la carga a la probeta en el ensaye.

**2.7 Máquina Marshall.** Aparato eléctrico, diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensaye, a una velocidad de deformación de  $50 \pm 1$  mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm, para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear también esta máquina equipada con sensor y registrador de estabilidad v/s fluencia.

**2.8 Hornos.** Horno de convección forzada y placas calientes, que deben incluir un termostato capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de  $\pm 3$  °C.

**2.9 Baño de Agua.** De a lo menos 150 mm de profundidad y controlado termostáticamente a  $60 \pm 1$  °C. El estanque debe tener un fondo falso perforado y un termómetro centrado y fijo.

### 2.10 Equipo Misceláneo.

- a) Pailas para calentar el agregado.
- b) Recipiente, para calentar el asfalto.
- c) Bol, para mezclar el asfalto y agregado.
- d) Espátulas, para el mezclado manual de la mezcla.
- e) Mezclador mecánico, opcional.
- f) Termómetros de rango 10 a 200° C para determinar las temperaturas del agregado, asfalto y mezcla bituminosa.

- g) Balanzas con capacidad 5 de kg y sensibilidad 1 g.
- h) Poruñas.
- i) Guantes aislantes para resistir rango de de temperatura indicadas en f) y guantes de goma.
- j) Pintura, tinta u otro elemento de marcación indeleble para identificar las probetas.

### 3.- Probetas de Ensaye

**3.1 Número de Probetas.** Prepare a lo menos 3 y de preferencia 5 probetas para cada contenido de asfalto.

**3.2 Preparación del Agregado.** Seque el agregado hasta masa constante, a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y sepárelo por tamizado en seco en las siguientes fracciones: 25-20 mm; 20-12,5 mm; 12,5-10 mm; 10-5 mm; 5-2,5 mm y bajo 2,5 mm.

**3.3 Temperatura de Mezclado.** Es la temperatura a la que debe calentarse el cemento asfáltico y el asfalto cortado para producir una viscosidad de  $170 \pm 20$  cSt.

### 3.4 Temperatura de Compactación

- a) Para cementos asfálticos, la temperatura de compactación debe ser aquélla a la cual el cemento asfáltico alcanza una viscosidad de  $280 \pm 30$  cSt.
- b) Para asfaltos cortados, la temperatura de compactación debe ser aquélla a la cual el asfalto cortado alcanza una viscosidad de  $280 \pm 30$  cSt, después de perder 50% del solvente original.

### 3.5 Preparación de Muestras

- a) Pese en bandejas separadas para cada probeta de ensaye, la cantidad necesaria de cada fracción para producir una muestra que dé como resultado una probeta compacta de una altura aproximada de 65 mm; normalmente se requieren 1.100 g. Coloque las bandejas en el horno o en una placa caliente y llévelas a una temperatura de aproximadamente  $30^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura de mezclado especificada en 3.3 para cementos asfálticos, y de  $15^{\circ}\text{C}$  sobre dicha temperatura para asfaltos cortados. Coloque el agregado caliente en el bol de mezclado y revuelva completamente.

Forme un cráter en el agregado y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico o asfalto cortado e incorpórela al bol. En ese instante las temperaturas del agregado y del asfalto deben estar dentro de los límites establecidos en el Punto 3.3.

El asfalto no debe mantenerse a la temperatura de mezclado por más de 1 h antes de usarlo. Mezcle el agregado y asfalto tan rápido como sea posible, hasta que la mezcla quede totalmente cubierta y uniforme.

- b) Terminado el mezclado, coloque las mezclas con asfaltos cortados en un horno ventilado, mantenido a una temperatura de aproximadamente  $10^{\circ}\text{C}$  sobre la de compactación. Continúe el curado hasta que se haya evaporado 50% del solvente. La mezcla debe revolverse para acelerar el proceso de pérdida de solvente, teniendo cuidado de no perder mezcla. Durante este proceso, pese la mezcla inicialmente en intervalos de 15 min y, cuando se aproxime a la pérdida de 50%, en intervalos menores de 10 min.

### 3.6 Compactación de Probetas

- a) Prepare el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto del molde y cara del martillo de compactación y caliéntelos durante 15 min en un baño de agua o en una placa caliente a una temperatura próxima a la de compactación. Coloque un disco de papel, cortado a medida, en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla. Suavice la parte interior del molde y la cara del martillo con un aceite grueso. Coloque el conjunto collar, molde y base en el pedestal del compactador.
- b) Llene el molde con una espátula, acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. La temperatura antes de compactar debe estar en los límites establecidos en los Puntos 3.4 a) y b); si no es así, descártela. En ningún caso, la mezcla debe recalentarse.

- c) Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90 s. Saque la base y el collar, invierta y reensamble el molde. Aplique en la otra cara el mismo número de golpes en un tiempo no mayor al indicado. Después de compactar, saque la base y deje enfriar la probeta al aire. Si se desea un enfriamiento más rápido puede usar ventiladores. Normalmente la probeta se deja enfriar toda una noche.

**Nota 1:** Podrá especificarse una cantidad diferente de golpes, de acuerdo al tránsito de diseño.

**3.7 Determinación de Densidad y Espesor.** Tan pronto como la probeta se enfríe a temperatura ambiente, desmolde y determine su espesor. Luego proceda a determinar su densidad de acuerdo al Método 8.302.38.

#### 4.- Procedimiento de Ensaye.

**4.1** Para probetas confeccionadas con cementos asfálticos, coloque éstas en un baño de agua a  $60 \pm 1^\circ$  C durante 30 a 40 min, antes de ensayar. Para probetas confeccionadas con asfaltos cortados, colóquelas en una corriente de aire por un lapso no inferior a 2 h; mantenga la temperatura del aire a  $25 \pm 1^\circ$  C.

**4.2** Limpie completamente la mordaza. La temperatura de ésta debe mantenerse entre  $21$  y  $38^\circ$  C, usando un baño de agua si es necesario. Lubrique las barras guías con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza deslice suavemente. Si se usa un anillo de prueba para medir la carga aplicada, asegúrese que el dial esté firmemente ajustado y en cero.

**4.3** Saque la probeta del agua y seque cuidadosamente la superficie. Coloque y centre la probeta en la parte inferior de la mordaza, luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.

**4.4** Aplique carga a la probeta a una velocidad constante de deformación de  $50 \pm 1$  mm/min, hasta que se produzca la falla. El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a  $60^\circ$  C, corregida de acuerdo a Tabla 8.302.40.A.

**4.5** A medida que avanza el ensaye de estabilidad, sujete firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía. Cuando se produzca la carga máxima, tome la lectura y anótela. Esta lectura es el valor de la fluidez de la probeta expresada en unidades de 0,25 mm (1/100 pulg). El procedimiento completo, estabilidad y fluencia, comenzando desde el momento en que se retira la probeta del agua, no debe durar más de 30 s.

**5.- Informe.** Además de la identificación de la obra (nombre del contrato y contratista), identificación y procedencia de los materiales (asfalto y agregado pétreo) y fecha del ensaye, el informe debe incluir lo siguiente:

- a) Carga máxima promedio (newton) de a lo menos 3 probetas, corregidas cuando sea necesario.
- b) Valor promedio de la fluidez (0,25 mm) de a lo menos 3 probetas.
- c) Temperatura de mezclado.
- d) Temperatura de compactación.

**TABLA 8.302.40.A**  
**FACTORES DE CORRECCION POR ALTURA PARA ESTABILIDAD**  
**MARSHALL**

ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR
31,5	3.902	36,5	3.030	41,5	2.246
31,6	3.884	36,6	3.014	41,6	2.234
31,7	3.867	36,7	2.999	41,7	2.223
31,8	3.850	36,8	2.983	41,8	2.211
31,9	3.833	36,9	2.968	41,9	2.199
32,0	3.815	37,0	2.952	42,0	2.187
32,1	3.798	37,1	2.936	42,1	2.175
32,2	3.780	37,2	2.921	42,2	2.163
32,3	3.763	37,3	2.905	42,3	2.151
32,4	3.745	37,4	2.889	42,4	2.139
32,5	3.728	37,5	2.874	42,5	2.128
32,6	3.710	37,6	2.858	42,6	2.116
32,7	3.693	37,7	2.843	42,7	2.104
32,8	3.675	37,8	2.827	42,8	2.092
32,9	3.658	37,9	2.811	42,9	2.080
33,0	3.640	38,0	2.796	43,0	2.070
33,1	3.623	38,1	2.780	43,1	2.060
33,2	3.605	38,2	2.763	43,2	2.050
33,3	3.588	38,3	2.745	43,3	2.040
33,4	3.570	38,4	2.728	43,4	2.030
33,5	3.554	38,5	2.710	43,5	2.020
33,6	3.538	38,6	2.693	43,6	2.010
33,7	3.522	38,7	2.675	43,7	2.000
33,8	3.506	38,8	2.658	43,8	1.990
33,9	3.490	38,9	2.640	43,9	1.980
34,0	3.474	39,0	2.623	44,0	1.970
34,1	3.458	39,1	2.605	44,1	1.960
34,2	3.442	39,2	2.588	44,2	1.950
34,3	3.426	39,3	2.570	44,3	1.940
34,4	3.410	39,4	2.553	44,4	1.930
34,5	3.394	39,5	2.535	44,5	1.920
34,6	3.378	39,6	2.517	44,6	1.912
34,7	3.362	39,7	2.500	44,7	1.904
34,8	3.346	39,8	2.486	44,8	1.896
34,9	3.330	39,9	2.471	44,9	1.888
35,0	3.311	40,0	2.457	45,0	1.879
35,1	3.293	40,1	2.443	45,1	1.871
35,2	3.274	40,2	2.428	45,2	1.863
35,3	3.255	40,3	2.414	45,3	1.855
35,4	3.236	40,4	2.399	45,4	1.847
35,5	3.218	40,5	2.385	45,5	1.839
35,6	3.199	40,6	2.371	45,6	1.831
35,7	3.180	40,7	2.356	45,7	1.823
35,8	3.161	40,8	2.342	45,8	1.814
35,9	3.143	40,9	2.328	45,9	1.806
36,0	3.124	41,0	2.313	46,0	1.798
36,1	3.105	41,1	2.299	46,1	1.790
36,2	3.086	41,2	2.284	46,2	1.782
36,3	3.068	41,3	2.270	46,3	1.774
36,4	3.049	41,4	2.258	46,4	1.766

ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR
46,5	1.758	51,5	1.435	56,5	1.216
46,6	1.750	51,6	1.430	56,6	1.213
46,7	1.742	51,7	1.425	56,7	1.209
46,8	1.734	51,8	1.420	56,8	1.205
46,9	1.726	51,9	1.415	56,9	1.201
47,0	1.718	52,0	1.410	57,0	1.198
47,1	1.710	52,1	1.405	57,1	1.194
47,2	1.702	52,2	1.400	57,2	1.190
47,3	1.694	52,3	1.395	57,3	1.187
47,4	1.686	52,4	1.390	57,4	1.184
47,5	1.678	52,5	1.386	57,5	1.181
47,6	1.670	52,6	1.381	57,6	1.178
47,7	1.663	52,7	1.377	57,7	1.174
47,8	1.656	52,8	1.373	57,8	1.171
47,9	1.649	52,9	1.368	57,9	1.168
48,0	1.643	53,0	1.364	58,0	1.165
48,1	1.636	53,1	1.359	58,1	1.162
48,2	1.629	53,2	1.355	58,2	1.159
48,3	1.622	53,3	1.351	58,3	1.156
48,4	1.615	53,4	1.346	58,4	1.153
48,5	1.608	53,5	1.342	58,5	1.149
48,6	1.601	53,6	1.338	58,6	1.146
48,7	1.594	53,7	1.333	58,7	1.143
48,8	1.588	53,8	1.329	58,8	1.140
48,9	1.581	53,9	1.324	58,9	1.137
49,0	1.574	54,0	1.320	59,0	1.134
49,1	1.567	54,1	1.316	59,1	1.131
49,2	1.560	54,2	1.311	59,2	1.128
49,3	1.554	54,3	1.307	59,3	1.124
49,4	1.549	54,4	1.303	59,4	1.121
49,5	1.543	54,5	1.298	59,5	1.118
49,6	1.538	54,6	1.294	59,6	1.115
49,7	1.532	54,7	1.289	59,7	1.112
49,8	1.526	54,8	1.285	59,8	1.109
49,9	1.521	54,9	1.281	59,9	1.106
50,0	1.515	55,0	1.276	60,0	1.103
50,1	1.509	55,1	1.272	60,1	1.099
50,2	1.504	55,2	1.268	60,2	1.096
50,3	1.498	55,3	1.263	60,3	1.093
50,4	1.493	55,4	1.259	60,4	1.090
50,5	1.487	55,5	1.254	60,5	1.087
50,6	1.481	55,6	1.250	60,6	1.084
50,7	1.476	55,7	1.246	60,7	1.081
50,8	1.470	55,8	1.243	60,8	1.078
50,9	1.465	55,9	1.239	60,9	1.074
51,0	1.460	56,0	1.235	61,0	1.071
51,1	1.455	56,1	1.231	61,1	1.068
51,2	1.450	56,2	1.228	61,2	1.065
51,3	1.445	56,3	1.224	61,3	1.062
51,4	1.440	56,4	1.220	61,4	1.059

ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR	ALTURA ( mm )	FACTOR
61,5	1.056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1.053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1.049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1.046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1.043	66,8	0,928	71,7	0,828
62,0	1.040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1.037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1.035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1.032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1.029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1.027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1.024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1.021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1.019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1.016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1.013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1.011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1.008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1.005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1.003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1.000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,1	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761

**Nota :** La estabilidad medida de la probeta multiplicada por el factor correspondiente a su altura, es igual a la estabilidad corregida para una probeta de 63,5 mm.

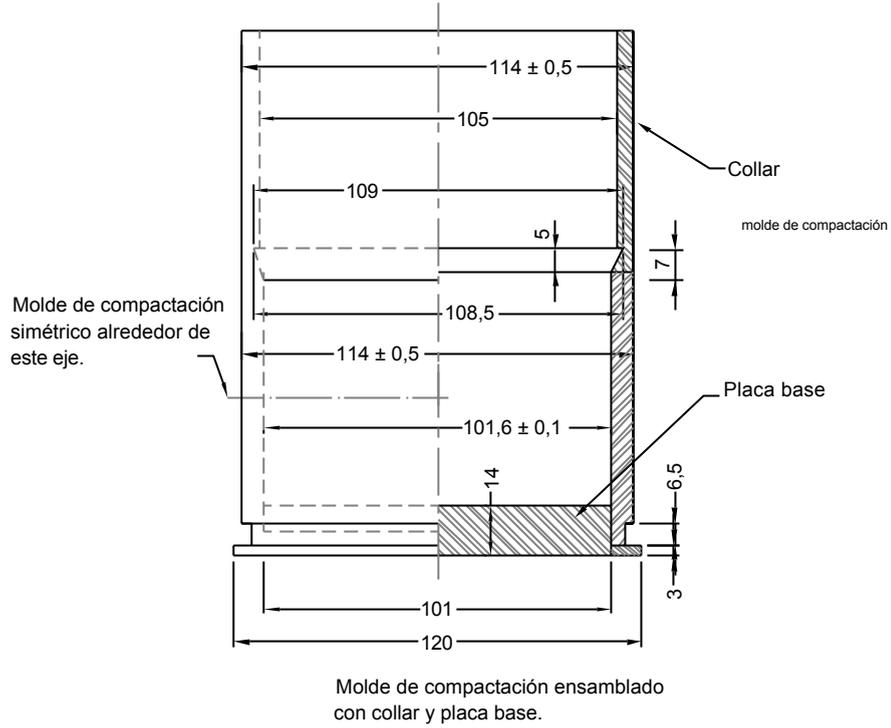


Figura 1

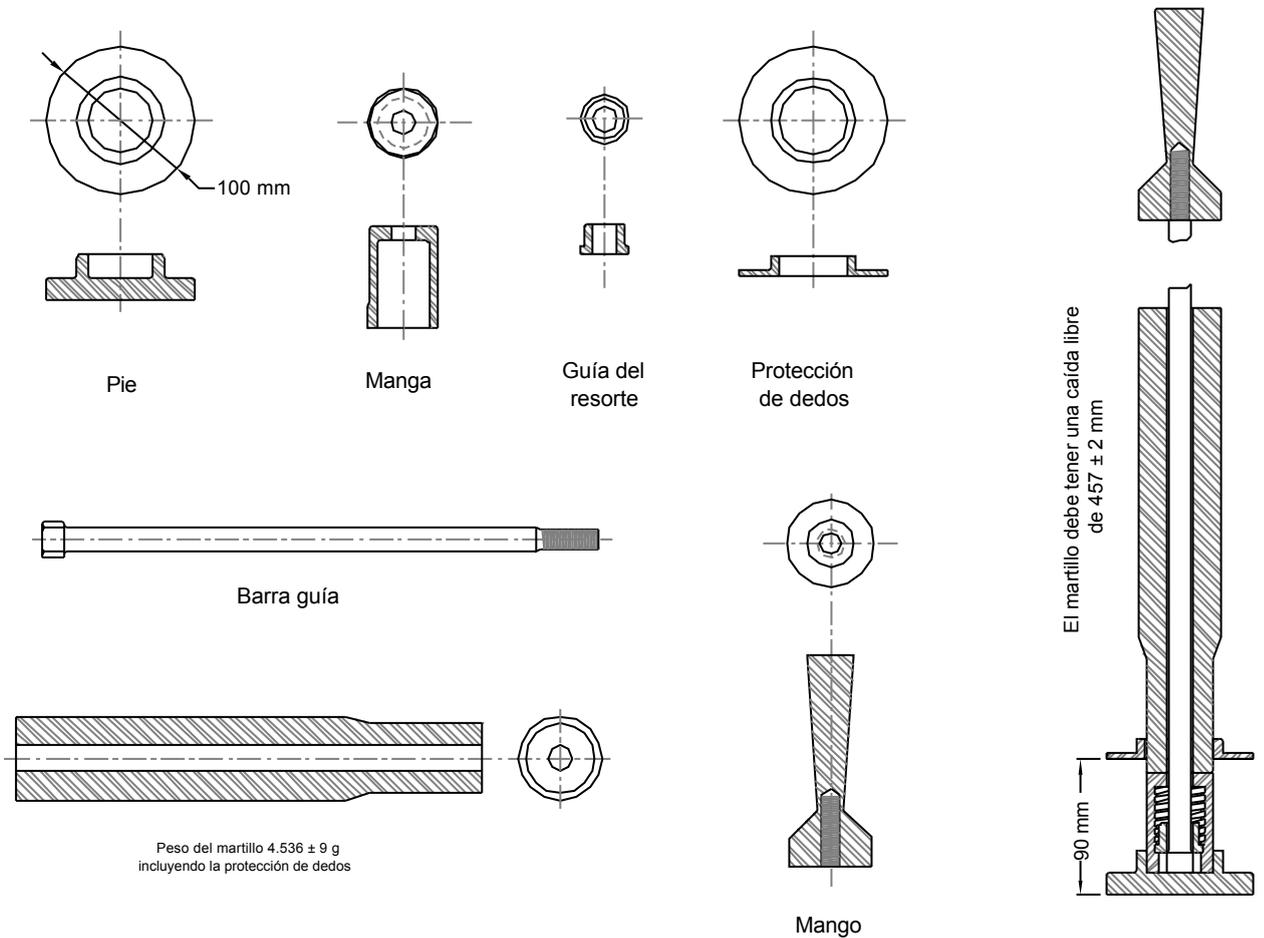
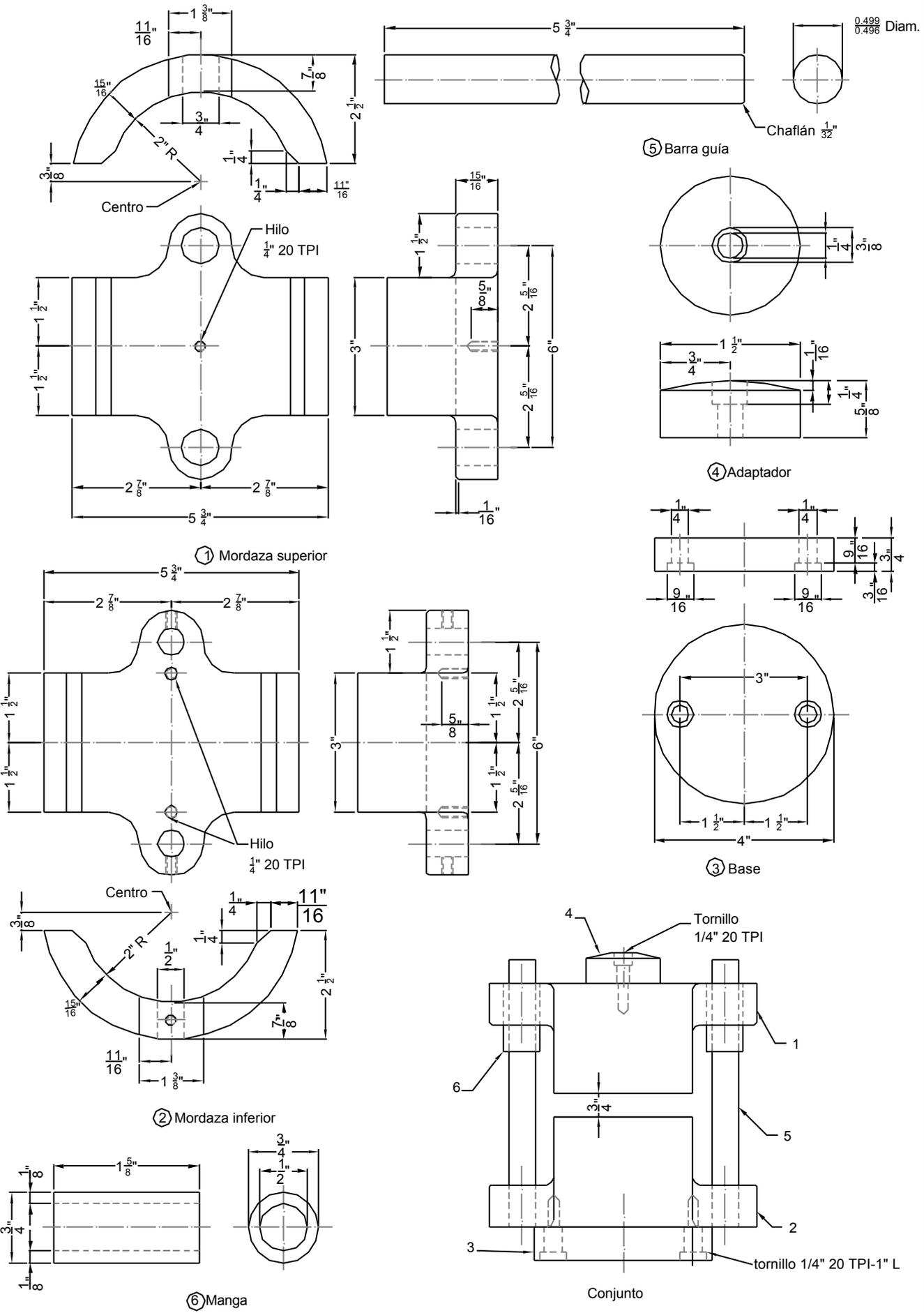


Figura 2



## **8.302.41 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFALTICAS COMPACTADAS**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método permite determinar el espesor o altura de probetas y testigos confeccionados con mezclas asfálticas.

El espesor de un pavimento asfáltico se controla mediante testigos, para verificar que el volumen de mezcla estipulado ha sido efectivamente colocado en obra.

La altura de las probetas confeccionadas en laboratorio se utiliza para corregir los valores de estabilidad Marshall.

El método 8.302.41 es una adaptación de la norma ASTM D 3549 – 93a.

**2.- Referencias.** Norma ASTM D 3549-93a

**3.- Aparatos.**

**3.1 Instrumento de Medición.** Para medir utilice un pié de metro, con una precisión de 0,1 mm, digital o análogo.

**Nota 1:** Dependiendo de los requerimientos de las especificaciones, las mediciones deberán efectuarse con la precisión que se indica:

- Cuando se especifique el espesor en cm, las lecturas deberán realizarse con aproximación a 0,1 cm.
- Cuando se especifique el espesor en mm, las lecturas deberán realizarse con aproximación a 0,1 mm.

**3.2 Otros Elementos.** Martillo, cincel, espátula y tiza o lápices de cera para marcar las muestras.

**4.- Muestras de Ensaye.**

**4.1** Las muestras de ensaye serán probetas compactadas en laboratorio o testigos de pavimento.

**4.2** Los testigos se extraerán mediante brocas diamantadas u otro sistema similar apropiado para este fin.

**4.3** La medición de espesor no debe efectuarse sobre muestras deformadas o quebradas, ya sea producto de la extracción en terreno (caso de testigos) o del desmolde en laboratorio (caso de probetas). Asimismo no deberán ensayarse las muestras que sufran deterioro durante el almacenamiento previo a la medición.

**4.4** Las muestras de ensaye deben estar limpias y libres de toda materia extraña adherida.

**5.- Procedimiento de Ensaye.**

**5.1** En el caso de testigos, cuando la muestra esté compuesta por dos o más capas, la medición del espesor debe efectuarse en el manto del cilindro y de acuerdo al procedimiento que se indica a continuación:

- a) Coloque el pie de metro de forma que las mordazas de éste queden perpendiculares a los planos correspondientes a las caras inferior y superior de cada una de las capas
- b) Tome 4 medidas, distanciadas entre ellas en un cuarto de circunferencia (90°). El espesor de la muestra corresponderá a la media aritmética de los 4 valores obtenidos.

c) Cuando el espesor promedio obtenido no cumpla con las especificaciones de la obra, tome otras 4 medidas en los puntos medios de las anteriores. El espesor de la muestra será en este caso el promedio de las 8 determinaciones.

**5.2** En el caso de muestras simples (una sola capa), se procederá de acuerdo a 5.1 b) y c), cuidando que las mordazas del pie de metro queden apoyadas en las caras inferior y superior de la muestra.

## **6.- Informe.**

**6.1** La altura o espesor de las muestras se informará en mm, aproximando al entero más cercano.

**6.2** El informe deberá incluir, además de la identificación del contrato, el número correlativo del testigo o probeta, fecha de extracción o de confección, según corresponda, su ubicación (kilometraje y pista) en el caso de testigos, fecha de ensaye y la altura o espesor de la muestra expresada en mm.

## **8.302.42 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DEFORMACION EN MEZCLAS ASFALTICAS UTILIZANDO LA MAQUINA DE AHUELLAMIENTO\***

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

\*El Método 8.302.42 es una adaptación de NLT 173/84

**1.1** Este Método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa, tanto en el caso de mezclas preparadas en laboratorio como en el caso de testigos procedentes de pavimentos construidos.

**1.2** El ensaye consiste en someter una probeta de mezcla bituminosa (Nota 1), al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

**1.3** El procedimiento es aplicable principalmente a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y destinadas a trabajar en condiciones severas de tránsito y clima, aunque variando las condiciones del ensaye puede también ser de utilidad en otros tipos de mezclas.

**Nota 1:** Los moldes y las probetas que se detallan en este método son de forma prismática, aunque el procedimiento general de ensaye puede tener aplicación a probetas de otras formas, siempre que se garanticen convenientemente algunos requisitos como tamaño mínimo, fijación, etc.

### **2. Referencias**

- Norma española NLT-173/84
- Método 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall

### **3.- Aparatos y Materiales Necesarios.**

**3.1 Conjunto de Compactación.** Está formado por el molde, el collarín y los cuatro angulares construidos en acero, con la forma y dimensiones que se detallan en las Láminas 8.302.42.A y 8.302.42.B.

**3.2 Base de Compactación.** Esta base está formada por una pieza prismática de hormigón de 60 x 60 x 20 cm como mínimo, y apoyada en una de sus caras mayores sobre un dispositivo de anclaje con amortiguación. Su forma y dimensiones están indicadas en la Lámina 8.302.42.C.

**3.3 Elemento Compactador.** La compactación de la mezcla dentro de los moldes se realiza mediante una placa de acero sobre la que van montados dos vibradores iguales, cuyas excéntricas, de 9,5 kg de masa y girando a la velocidad de 314 rad/s (3.000 r.p.m.), proporcionan en cada uno una fuerza centrífuga de 3 kN (300 kgf), ambos dispuestos de tal forma que sus excéntricas giren hacia el centro de la placa. Su forma y dimensiones se indican en la Lámina 8.302.42.D.

**3.4 Dispositivos de Extensión y Enrase.** Para lograr una uniforme y homogénea distribución de la mezcla en el molde, así como un correcto enrasado, se dispondrá de los útiles correspondientes con la forma y dimensiones que se detallan en la Lámina 8.302.42.E.

**3.5 Máquina de Ensaye.** La máquina para el ensaye en pista de laboratorio, cuya forma y dimensiones fundamentales se indican en las Láminas 8.302.42.F y G, consiste en esencia en un carro móvil de forma rectangular, soportado en cuatro puntos por un sistema horizontal - vertical de ruedas metálicas provistas de cojinetes de bolas, capaces de deslizarse sobre unos perfiles de apoyo en forma de L. El carro va unido mediante una excéntrica a un motor reductor que produce, al estar en funcionamiento, un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima de este carro va situada la rueda de ensaye, montada en un brazo sustentador formado por una pareja de perfiles en L, brazo que en uno de sus extremos va unido, mediante un cojinete horizontal, a un soporte rígido de la máquina, y con su otro extremo libre y provisto de

un dispositivo para colocar las pesas que producen las diferentes cargas sobre la rueda. El carro móvil debe disponer de los elementos necesarios para la sujeción del mismo a la probeta de ensaye, llevando igualmente en uno de sus lados una superficie de medida que permita, mediante un micrómetro de esfera (Nota 2), solidario con la rueda de ensaye, realizar la lectura de las deformaciones verticales que se produzcan en la probeta durante el ensaye. La rueda de ensaye debe ser metálica y dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, con una dureza de 80 en la escala Dunlop. El mecanismo de arrastre del carro móvil debe estar diseñado para permitir una frecuencia del movimiento de vaivén de  $42 \pm 1$  pasadas por minuto y un recorrido en cada sentido de  $23 \pm 0,5$  cm.

**Nota 2:** Un micrómetro con un recorrido de 20 mm y graduado en 0,1 mm. Además deberá ir provisto del dispositivo de frenado del desplazamiento máximo del vástago.

**3.6 Cámara Termostatzada.** Para lograr que la temperatura sea constante durante el ensaye, se dispondrá de una cámara que permita alojar la máquina y mantener esta temperatura durante todo el ensaye, con una variación máxima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Un modelo apropiado puede ser el fabricado con perfiles metálicos y paneles aislantes, con la forma y dimensiones que se sugieren en la Lámina 8.302.42.H. En uno de sus frentes llevará una ventana abatible transparente para permitir durante el ensaye la lectura del micrómetro y de la temperatura. En uno de sus lados está situada la puerta de acceso de la máquina, para la colocación y extracción de la probeta. En el interior irá colocado el elemento calefactor, con termostato regulable desde el exterior, y dos ventiladores, uno situado detrás de dicho elemento y el otro en posición lateral, con su eje perpendicular al del primero, para una mejor homogeneización de la temperatura en el interior de la cámara.

**3.7 Horno.** Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso y moldes, se dispondrá de uno o más hornos adecuados, provistos de termostato y capaces de mantener las temperaturas especificadas con un error menor que  $3^\circ\text{C}$ .

**3.8 Mezcladora.** Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica, pudiendo utilizarse de cualquier tipo, siempre y cuando sea de la capacidad adecuada y permita mantener la temperatura de la mezcla dentro de los límites exigidos. Deberá ser capaz además de producir una mezcla uniformemente cubierta y homogénea en el tiempo prescrito, sin producir alteraciones en la granulometría y permitiendo un vertido correcto de la mezcla fabricada. Si el mezclado se realiza manualmente, se empleará un recipiente de tamaño adecuado, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

**3.9 Termómetros.** Para las medidas de las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se recomienda el empleo de termómetros con escala de 0 a  $200^\circ\text{C}$  y sensibilidad mínima de  $3^\circ\text{C}$ .

**3.10 Balanzas.** Para pesar los áridos se utilizarán balanzas con la capacidad suficiente y una sensibilidad mínima de 5 g. Para pesar el filler y el ligante bituminoso se dispondrá de balanzas de sensibilidad igual o menor que 1 g.

**3.11 Material General.** Bandejas, espátulas, poruñas, guantes, etc.

#### 4.- Procedimiento.

##### 4.1 Fabricación de las Probetas.

- a) Número de Probetas. Fabrique para cada ensaye un mínimo de tres probetas por cada variable (contenido de ligante, temperatura, presión de contacto, etc.) que se deseen estudiar.
- b) Masa de las probetas. Calcule la cantidad de mezcla necesaria para cada probeta a partir de los valores correspondientes al volumen del molde y a la densidad relativa Marshall de la mezcla, para cuya aplicación siga los siguientes criterios:
  - En mezclas densas y semidensas (tránsitos pesados y medios), tome para la densidad de la muestra 97% como mínimo de la densidad Marshall correspondiente, obtenida según el Método 8.302.40.
  - En las restantes mezclas base el cálculo en 95% de la densidad Marshall, obtenida según el Método 8.302.40.

- c) Preparación de los Aridos. Las fracciones que compongan la mezcla de áridos deben ser secadas completamente en horno a una temperatura entre 105 y 110 ° C.
- d) Temperaturas de Mezclado y Compactación. Para el mezclado y compactación de las probetas las temperaturas elegidas estarán en función de la viscosidad del ligante. En el caso de emplear un betún asfáltico estas viscosidades serán de  $170 \pm 20$  cSt en el proceso de mezclado, y de  $280 \pm 30$  cSt en el de compactación. Si se utiliza como aglomerante alquitrán, las viscosidades respectivas serán de  $25 \pm 3$  grados Engler para la mezcla y  $40 \pm 5$  grados Engler para la compactación.
- e) Fabricación de la Mezcla. Pese sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de áridos necesarias para la fabricación de una probeta, según los criterios expuestos en 3.1b). A continuación caliente la masa total de áridos en el horno a una temperatura de unos 30° C superior a la determinada para el mezclado según 3.1d), calentando simultáneamente el ligante a la temperatura necesaria según este mismo apartado. Cuando ambos materiales estén a sus respectivas temperaturas, vierta los áridos en el recipiente de mezclado y realice un primer mezclado en seco para efectos de homogeneización; cuando los áridos hayan alcanzado la temperatura de mezclado según 3.1d), añada rápidamente la cantidad necesaria de ligante (Nota 3), realizando seguidamente la mezcla hasta conseguir un mezclado completo y homogéneo, no debiéndose emplear en esta operación más de 2 min.

**Nota 3:** El ligante no deberá mantenerse a su temperatura de mezclado por más de 1 h.

- f) Compactación de la Mezcla. Caliente el molde y el collarín en el horno a una temperatura de unos 15° C superior a la de compactación. Una vez calientes, coloque el molde sobre la base de compactación en su anclaje y monte el collarín. A continuación vierta la mezcla ya preparada en el molde, a una temperatura superior a la de compactación, de 10 °C como mínimo, evitando la segregación del material, y distribuyéndola uniformemente y enrasándola con los útiles correspondientes. Sobre la mezcla ya nivelada coloque el elemento compactador y realice una compactación inicial de 75 s de duración. Terminada la compactación desmonte el collarín y sustitúyalo por los cuatro angulares colocados en los vértices del molde. A continuación complete el proceso de compactación mediante otros tres períodos de 75 s cada uno, realizados girando, en el mismo sentido y sucesivamente en 90° el elemento compactador con respecto de la posición inicial. La compactación puede aceptarse como correcta siempre y cuando la altura de la probeta esté dentro de  $\pm 2$  mm respecto a los bordes del molde. Una vez finalizada la compactación, deje enfriar la mezcla a temperatura ambiente durante un período mínimo entre 12 y 24 h antes de ensayarla.
- g) Determinación de la Densidad. Si se desea comprobar la densidad alcanzada por la probeta, se puede proceder al desmolde de ésta una vez enfriada (Nota 4). Su masa se determina mediante la balanza y su volumen por medidas geométricas de sus dimensiones. Deberán tomarse las precauciones necesarias para no alterar la probeta durante esta manipulación, debido a su forma y masa, volviéndola a colocar dentro del molde y, en la misma posición relativa que tenía, lo más rápidamente posible.

**Nota 4:** Si se dispone de una balanza de suficiente capacidad para determinar la masa total de la probeta y el molde, puede realizarse esta determinación sin necesidad de desmoldar la probeta, conociendo previamente la masa del molde vacío y sus dimensiones interiores.

- h) Testigo del Pavimento: Cuando se tengan que ensayar testigos procedentes de un pavimento ya construido, si éstos son de gran tamaño, ponga un especial cuidado en su almacenamiento y manejo, evitando deformaciones de la muestra que pudieran alterar su geometría inicial. Sus dimensiones para el ensaye deben ser algo inferiores a las del molde, fijándolo a éste con algún material adecuado y procurando un asentamiento firme y duradero sobre la base. Evite cualquier movimiento o rotura durante el ensaye y mantenga la superficie de ensaye en el mismo plano horizontal del molde.

#### 4.2 Realización del Ensaye.

- a) Temperatura de Ensaye. La temperatura normalizada para el ensaye debe ser de  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. No obstante, pueden utilizarse otras temperaturas en estudios o ensayos especiales que así lo requieran.

- b) Presión de Contacto de la Rueda.** La presión de contacto normalizada, ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensaye, es de  $900 \pm 25 \text{ kN/m}^2$  ( $9 \pm 0,25 \text{ kgf/cm}^2$ ), para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. Sin embargo, en casos especiales o cuando así se requiera, pueden utilizarse otras presiones de contacto.
- c) Ejecución del Ensaye.** Después del período de enfriamiento de la mezcla, detallado en 3.1(f), introduzca las probetas en un horno regulado a  $60 \pm 2^\circ \text{ C}$  durante 4 h como mínimo, antes de ejecutar el ensaye. Conecte el sistema de calefacción de la cámara termostatzada, 2 h antes de comenzar, regulándolo a la temperatura de ensaye. Transcurrido este tiempo, saque la primera probeta del horno, levante la rueda (Nota 5) y fije el molde con la probeta en los anclajes que para este fin lleva el carro móvil, sin que la rueda toque en ningún momento la superficie de la probeta. En estas condiciones cargue el brazo soporte con las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, cierre la cámara y espere unos 30 min con objeto de homogeneizar la temperatura de ensaye. Seguidamente, apoye la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y ponga en marcha el carro durante 3 pasadas completas, para conseguir un asentamiento de la rueda sobre la probeta. A continuación detenga el carro y sitúelo en el punto de medida del micrómetro, ponga éste en cero. Cierre entonces la ventana lateral y transcurridos unos 5 min comience el ensaye, poniendo en movimiento el carro durante un período de 120 min sin interrupciones, tomando las correspondientes lecturas de la deformación según 4.1a). Una vez finalizado el ensaye, detenga la máquina, levante la rueda (Nota 5) y extraiga la probeta ensayada colocando seguidamente la siguiente y repitiendo el mismo procedimiento de ensaye anterior.

**Nota 5:** Para que no estorbe durante la operación de montaje y desmontaje de la probeta, es conveniente disponer de algún dispositivo que permita mantener la rueda levantada.

## 5.- Resultados.

### 5.1 Obtención de los Resultados.

- a)** Determine y anote las deformaciones totales leídas en el micrómetro en los minutos 1, 3 y 5 contados a partir del comienzo del ensaye; a continuación cada 5 min hasta completar 45 min y, a partir de ahí, cada 15 min hasta finalizar los 120 min de duración del ensaye.
- b)** Ensayadas todas las probetas, calcule los valores medios de todas las deformaciones registradas según 4.1a). Los valores medios se presentan en un gráfico Deformación - Tiempo y dibuje la curva de deformación de la mezcla.
- c)** A partir de las deformaciones  $d_t$  determinada en el gráfico, correspondientes a los tiempos  $t$  de ensaye, calcule la velocidad de deformación media correspondiente al intervalo de tiempo  $t_2/t_1$ , parámetro que se expresa en  $10^{-3} \text{ mm/min}$ , mediante la fórmula:

$$V_{t_2/t_1} = \frac{(d_{t_2} - d_{t_1})}{t_2 - t_1}$$

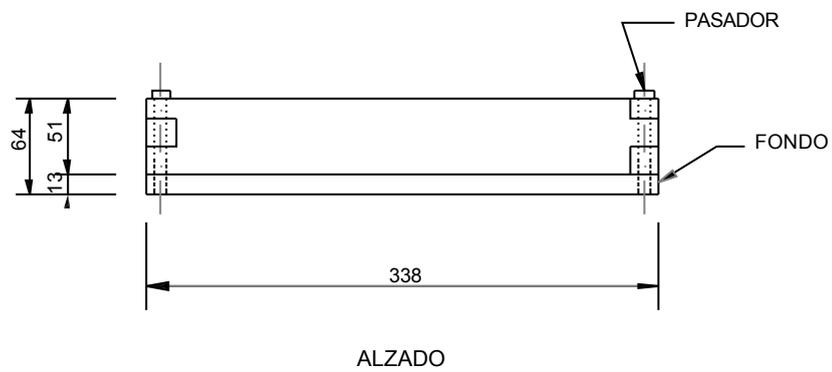
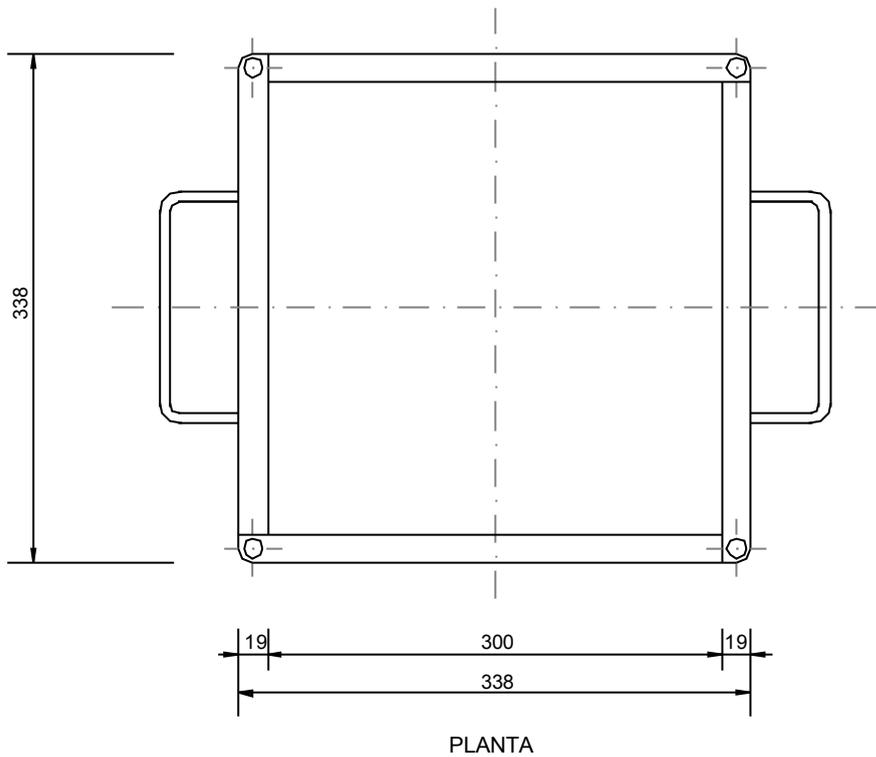
donde:

- $V_{t_2/t_1}$  : velocidad de deformación media correspondiente al intervalo de tiempo  $t_2/t_1$ .  
 $d_{t_1}$  y  $d_{t_2}$  : deformaciones, correspondientes a los tiempos de ensaye  $t_1$  y  $t_2$

### 5.2 Presentación de los Resultados.

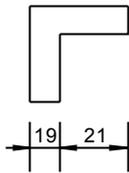
Los resultados del ensaye deben incluir la siguiente información:

- a)** Tipo y características de la mezcla.  
**b)** Origen de la mezcla (laboratorio, obra, testigo, etc.).  
**c)** Temperatura del ensaye.  
**d)** Presión de contacto.  
**e)** Deformación total al final del ensaye (mm).  
**f)** Representación gráfica de la curva deformación – tiempo.  
**g)** Velocidades de deformación en aquellos intervalos de tiempo en los que se manifieste claramente el comportamiento de la mezcla en el ensaye, como pueden ser:
- Velocidad en el intervalo 30 a 45 min ( $V_{30/45}$ ).
  - Velocidad en el intervalo 75 a 90 min ( $V_{75/90}$ ).
  - Velocidad en el intervalo 105 a 120 min ( $V_{105/120}$ )

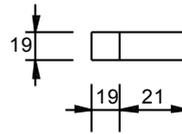


Dimensiones en mm.

ANGULARES

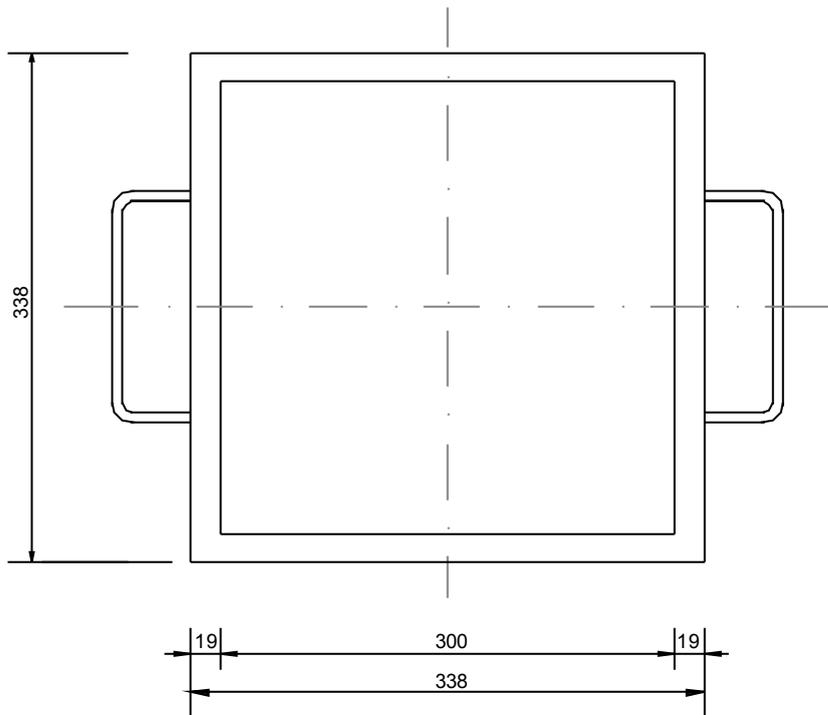


PLANTA

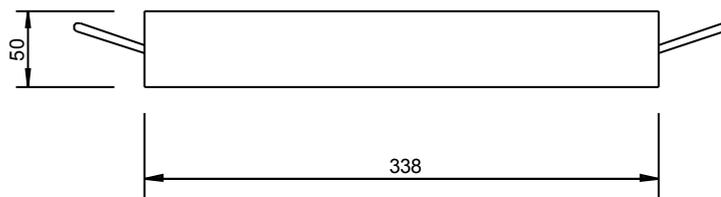


ALZADO

COLLARIN

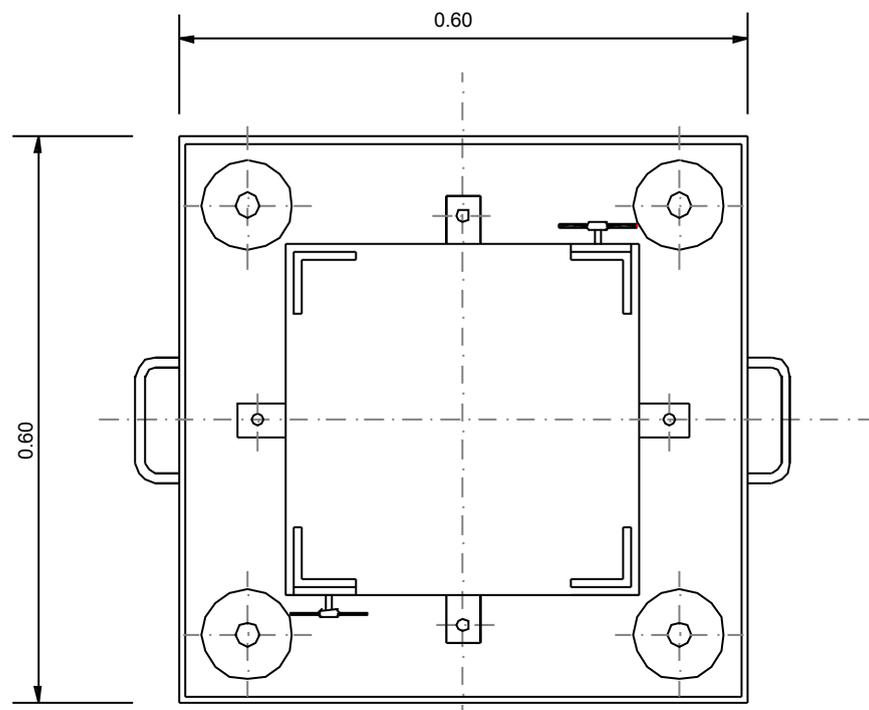
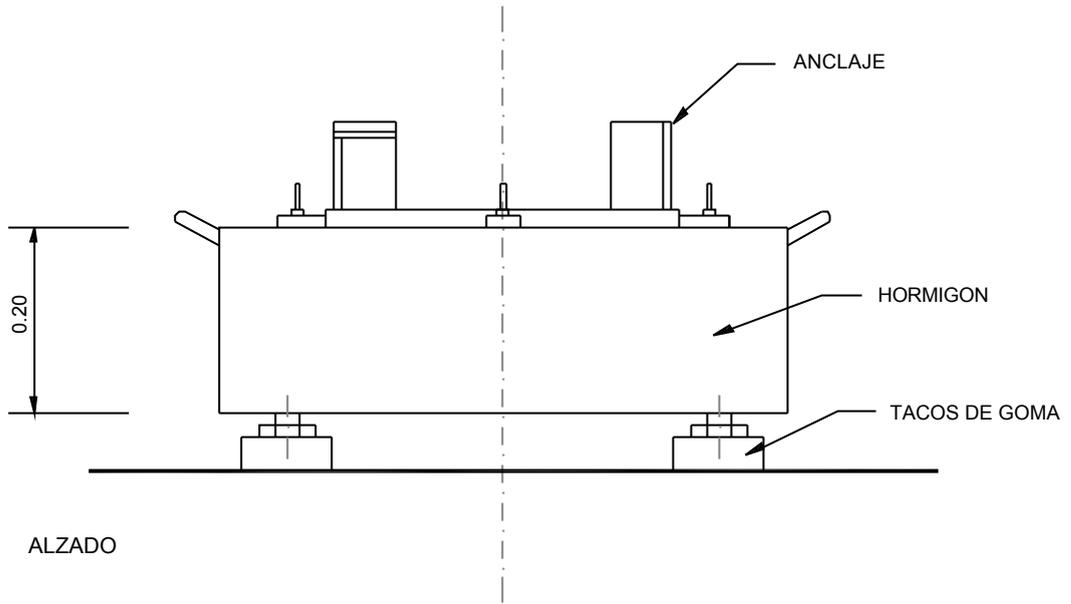


PLANTA

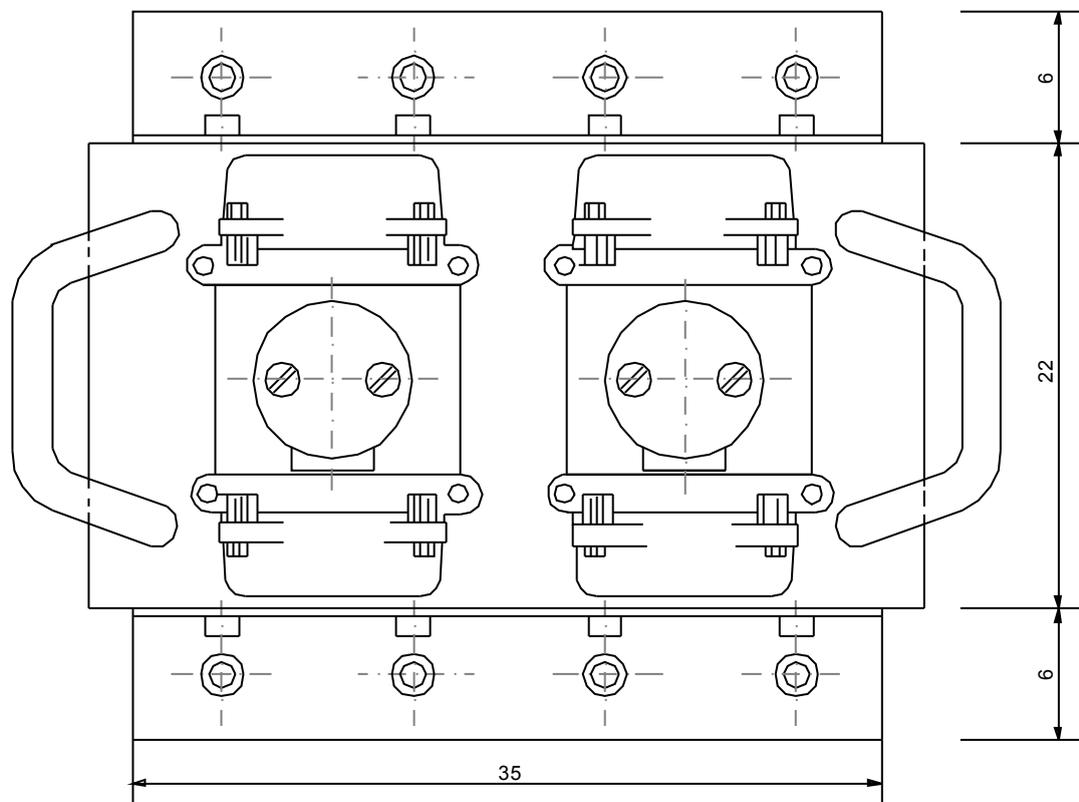
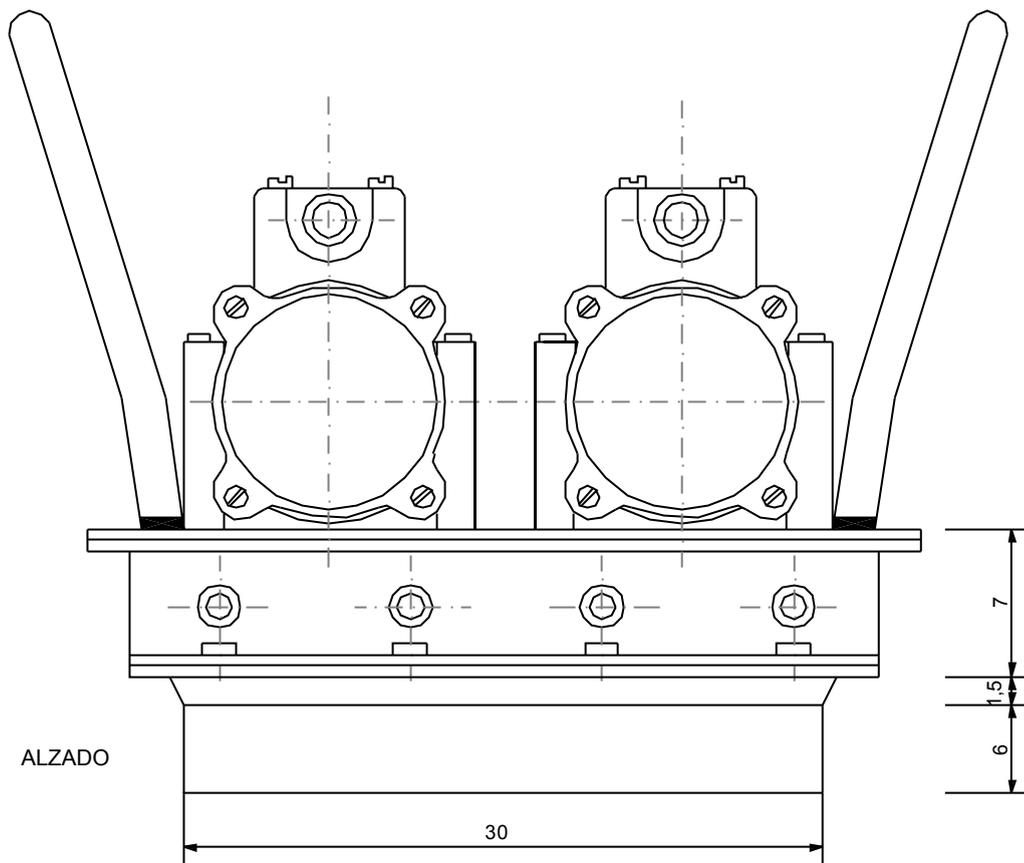


ALZADO

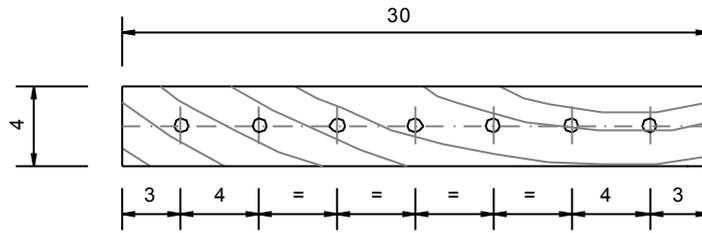
Dimensiones en mm.



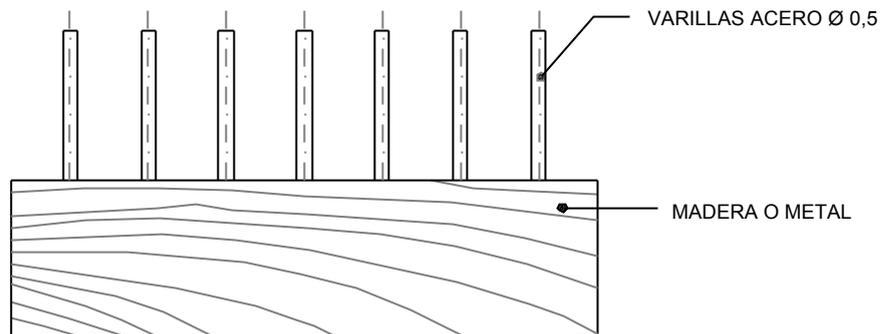
Dimensiones en m.



Dimensiones en cm.



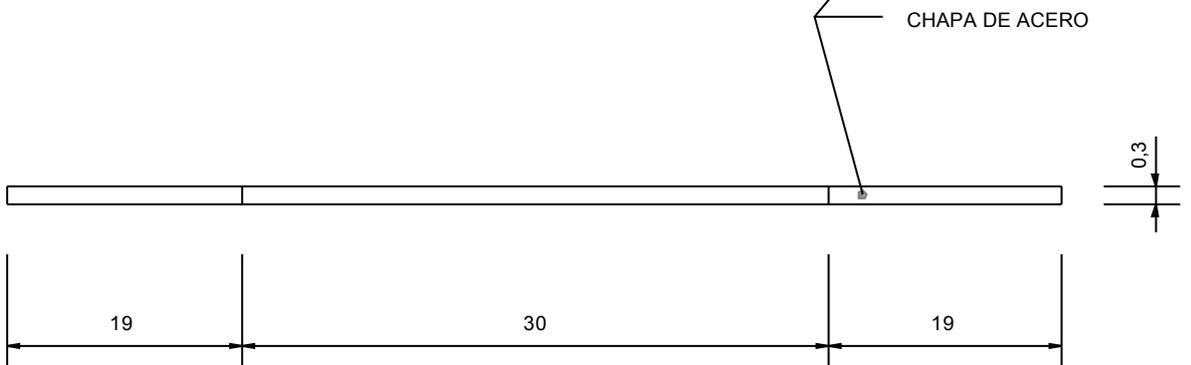
PLANTA



ALZADO

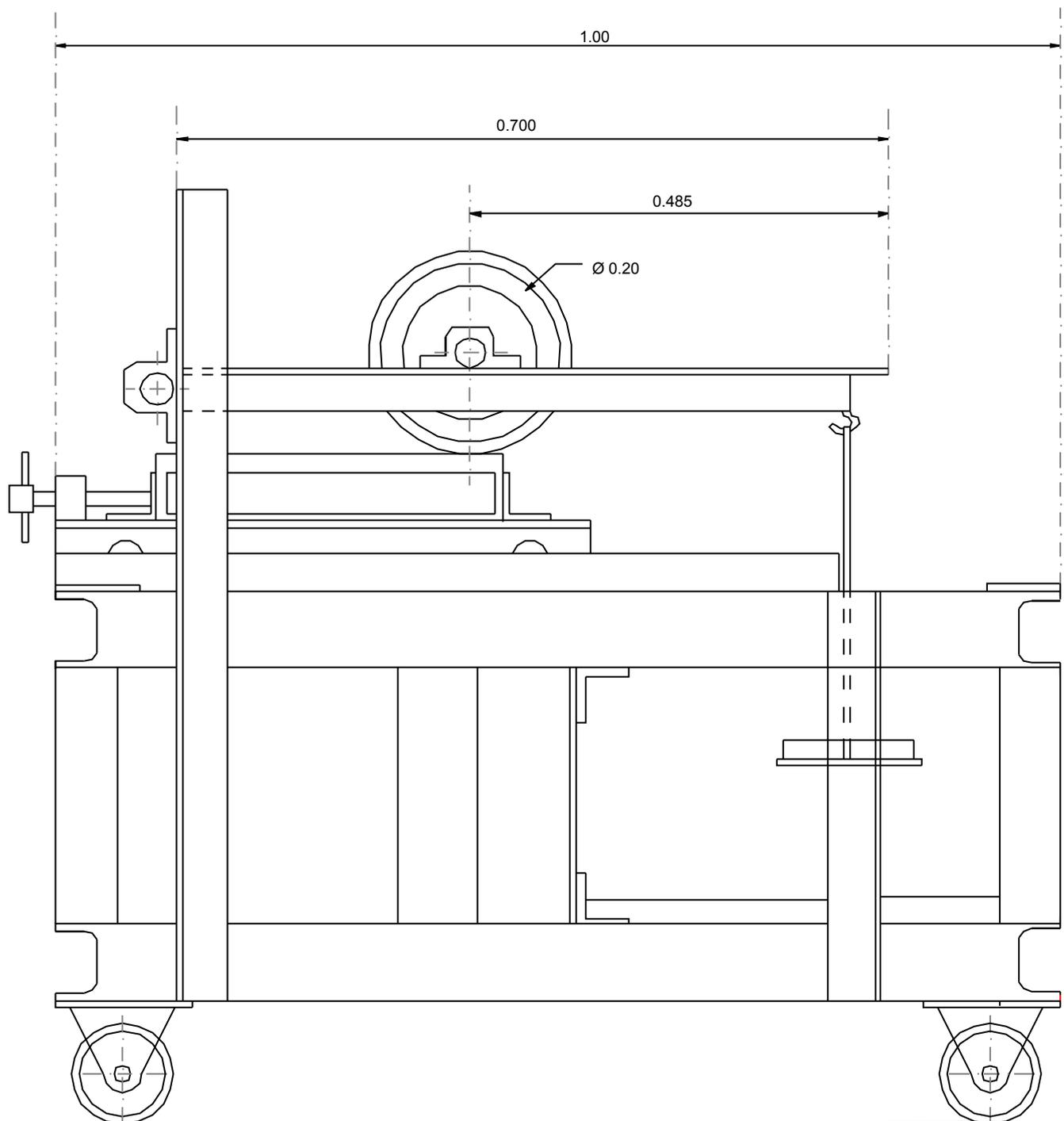


ALZADO



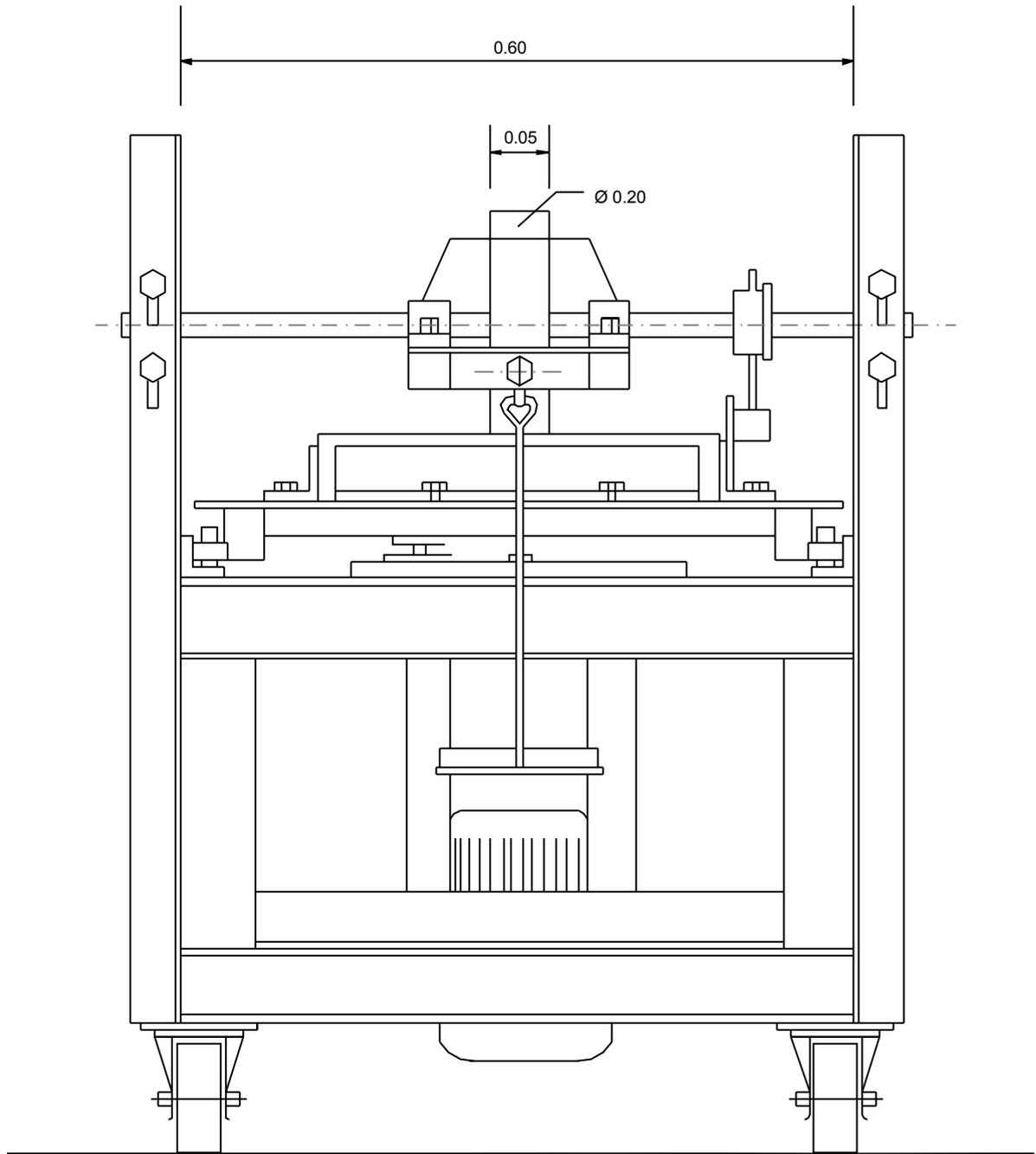
PLANTA

Dimensiones en cm.



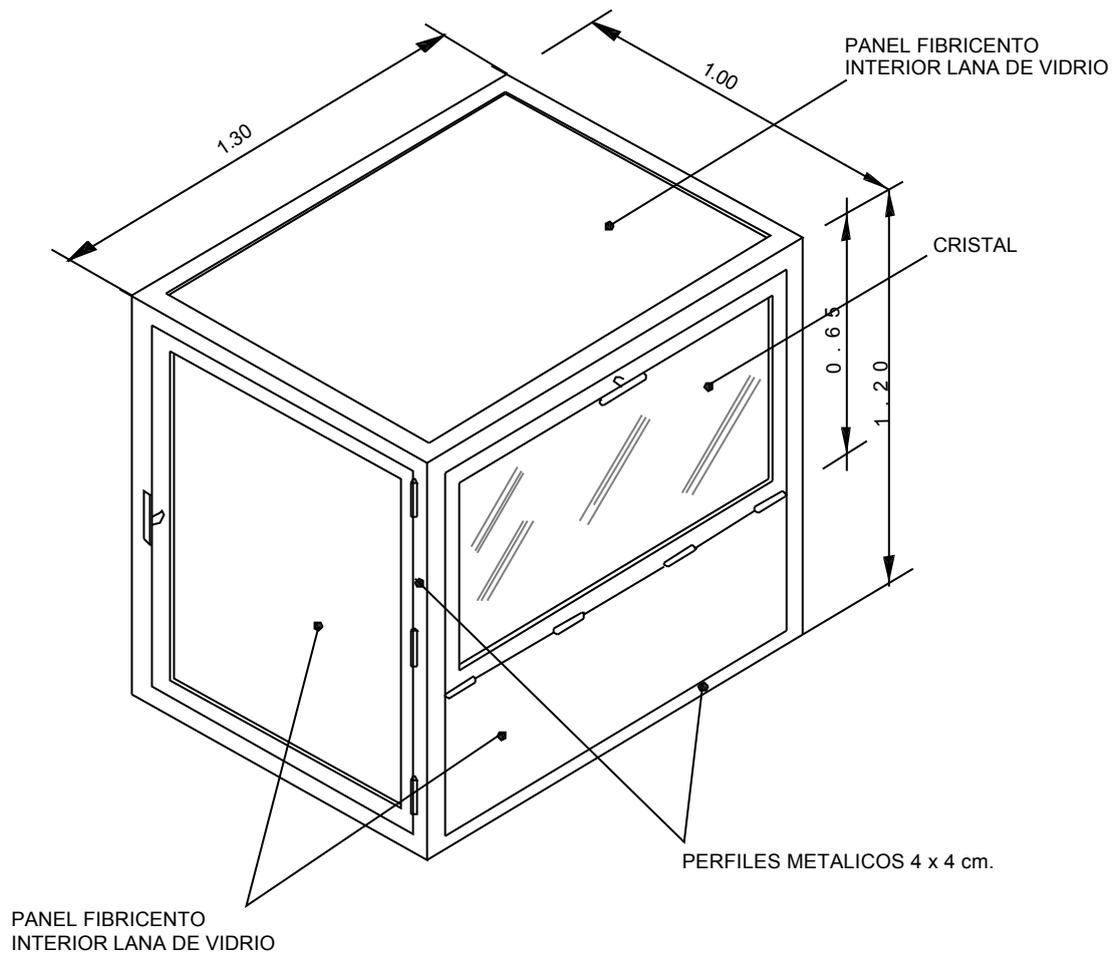
ALZADO LATERAL

Dimensiones en m.



ALZADO FRONTAL

Dimensiones en m.



Dimensiones en m.

### **8.302.43 ASFALTOS: METODO SCHULZE-BREUER Y RUCK PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD FILLER-LIGANTE ASFALTICO.**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece la determinación de la compatibilidad relativa entre un filler de graduación específica y un asfalto, ya sea cemento asfáltico o el residuo de una emulsión asfáltica.

Provee un sistema de clasificación o graduación para pérdidas por abrasión, adhesión y características de cohesión a altas temperaturas de una combinación específica filler - ligante asfáltico, para ser comparadas con valores de combinaciones de referencia. Estos valores de ensaye pueden relacionarse con el desempeño en terreno de mezclas para pavimentos.

#### **2.- Referencias.**

- ASTM C-136 Métodos de tamizado para agregados finos y gruesos.
- ASTM D-244 Métodos de ensayo para emulsiones asfálticas.
- ASTM D-3910 Práctica estándar para el diseño, ensayo y construcción de sellos de lechada asfáltica.
- ISSA TB#113 Procedimiento para mezclas de prueba de lechada asfáltica.
- ISSA TB#114 Ensayo de Desnudamiento en Humedad para mezclas curadas de lechada asfáltica.
- ISSA TB#115 Determinación de compatibilidad del sistema de lechada.
- ISSA TB#144 Método de clasificación de agregados para procedimiento Schulze-Breuer y Ruck de compatibilidad Filler – Ligante Asfáltico

#### **3.- Aparatos.**

- 3.1** Espátula adecuada para el mezclado y un bol o paila para contener 200 g de mezcla.
- 3.2** Balanza con una sensibilidad tal que sea capaz de medir  $0,01 \pm 0,005$  g.
- 3.3** Horno de tiro forzado ajustado a  $60^{\circ}$  C, que cumpla con ASTM E145.
- 3.4** Agua a temperatura ambiente,  $25 \pm 3^{\circ}$  C.
- 3.5** Moldes consistentes de una base, un cuerpo cilíndrico de diámetro interior 30 mm por 70 mm de altura y un pisón de 29 mm de diámetro.
- 3.6** Prensa de fuerza constante capaz de ejercer una fuerza constante de 1000 kg (2204 lb).
- 3.7** Cilindros de vaivén, consistentes en tubos acrílicos de 60 mm de diámetro interno por 400 mm de largo (interno), que contengan un volumen de  $1100 \pm 25$  ml, cerrado en ambos extremos con tapa metálica hermética, uno de los cuales debe ser fácilmente removible.
- 3.8** Máquina de Abrasión, capaz de sostener al menos 2 pares de cilindros de vaivén y rotarlos alrededor del eje central a 20 rpm.
- 3.9** Cestos galvanizados de 6 mm (1/4") de espesor, de 50 mm de diámetro por 50 mm de alto, con un adecuado sistema de sujeción para sumergirlos en agua hirviendo.

#### **4.- Materiales.**

- 4.1** El agua debe ser potable y sin sólidos disueltos nocivos. Para propósitos de referencia se usa agua destilada.

**4.2** La emulsión asfáltica debe ser homogeneizada y tamizada en malla 20 para remover cualquier grumo o coágulo.

**4.3** Aditivos como cemento Portland, cal hidratada, sulfatos de amonio o aluminio, retardadores o aceleradores comerciales, se usarán como se desee. En ausencia de estos aditivos, se usará un 1% de cemento Portland tipo 1 como referencia estándar.

**4.4** Se puede utilizar cemento asfáltico solo o en combinación con aditivos, tales como agentes mejoradores de adhesión, en combinación con un 50% de solvente de bajo punto de ebullición, en una solución no inflamable, para facilitar el mezclado a 60°C.

**4.5** El agregado debe ser tamizado en seco y remezclado según las proporciones de la Tabla 8.302.43.A.

**4.6** Cuando el agregado no sea remezclado y se elimine el material mayor a 2 mm (malla N° 10) tal como se recibe, los resultados deben indicar que el ensaye se realizó en tal condición.

**TABLA 8.302.43.A**  
**GRADUACION DE AGREGADO PARA ENSAYE SCHULZE-BREUER AND RUCK**

Tamiz		% material
ASTM	Mm	
30 – 10	0,60 - 2,00	35
50 – 30	0,30 - 0,60	25
200 – 50	0,08 - 0,30	22
bajo 200	bajo 0,08	18

## 5.- Preparación de la Mezcla.

**5.1** Agregue al bol de mezclado 200 g de agregado preparado, 2 g (1% en peso) de cemento Portland tipo 1 o la cantidad deseada de cemento y/u otro aditivo y suficiente agua para producir una lechada trabajable (aprox. 50 g). Premezcle completamente antes de agregar la emulsión.

**5.2** Agregue el equivalente a  $8,125 \pm 0,1$  % de asfalto puro (12,5 % de emulsión de 65% de residuo asfáltico) y mezcle hasta que quiebre. Transfiera la lechada ya quebrada y desmenuzada a una bandeja seca y déjela curar a temperatura ambiente un mínimo de 1 h. Luego seque hasta peso constante en un horno de tiro forzado a 60°C (pueden requerirse alrededor de 18 h).

**5.3** Coloque  $40 \pm 1$  g de mezcla seca, desmenuzada uniformemente en el molde precalentado a 60° C e, inmediatamente, compacte la mezcla en la prensa de carga por 1 min a una presión de 1.000 kg (2204 lb). Remueva la pastilla resultante del molde y enfríe a temperatura ambiente.

## 6.- Procedimiento de Ensaye.

**6.1** Remueva cualquier material suelto de la pastilla y pese, aproximando a 0,01 g. Sumerja en un baño de agua a  $25 \pm 3^\circ$  C durante 6 días.

**6.2** Retire la pastilla del baño de agua y seque la superficie con una toalla de papel secante de superficie dura hasta que no aparezcan manchas de humedad en la toalla. Inmediatamente pese, aproximando a 0,01 g, y determine el peso de agua absorbida, registrándolo como "Absorción".

**6.3** Llene el cilindro de vaivén con  $750 \pm 25$  ml de agua potable (2/3 de capacidad), coloque la pastilla en su interior, reponga el extremo removible para cerrar el cilindro y colóquelo fijamente en la máquina de abrasión.

**6.4** Active la máquina de abrasión por  $3 \text{ h} \pm 3 \text{ min}$  a 20 rpm (3.600 ciclos). Cada media vuelta la pastilla caerá a través del agua y golpeará la parte inferior.

**6.5** Después de 3.600 ciclos de abrasión, retire la pastilla desde el cilindro de vaivén y seque su superficie tal como se indica en 5.2 e inmediatamente pese, aproximando a 0,01 g para determinar la pérdida de peso. Registre como "Pérdida por Abrasión".

**6.6** Coloque la pastilla en el cesto y sumerja en un contenedor con agua hirviendo por 30 min.

**6.7** Coloque la pastilla o lo que quede de ella sobre una toalla de papel absorbente. Cuando esté superficialmente seca, pese la masa de la partícula más grande y regístrela como un porcentaje de la pildora saturada original. Este porcentaje es el valor de la cohesión a la temperatura más alta o simplemente la "Integridad".

**6.8** Seque la probeta a temperatura ambiente por 24 h. Estime visualmente el porcentaje de partículas de filler que están completamente cubiertas con asfalto. Este porcentaje de cobertura relativa se registra como "Adhesión".

## 7.- Informe.

**7.1** Para cada ensaye se debe informar el promedio de resultados de 4 probetas, incluyendo:

- a) Fecha de inicio y término del ensaye.
- b) Tipo de materiales utilizados.
- c) Dosis de cada material utilizado.
- d) Absorción: gramos absorbidos.
- e) Pérdida de abrasión: gramos perdidos.
- f) Adhesión: porcentaje de ligados.
- g) Integridad: porcentaje de masa retenida.

**7.2** La Tabla 8.302.43.B presenta el sistema de Clasificación de Compatibilidad Filler-Asfalto.

**TABLA 8.302.43.B**  
**SISTEMA DE CLASIFICACION FILLER – ASFALTO.**

<b>Grado de clasificación, cada ensaye</b>	<b>Punto de clasificación, cada ensaye</b>	<b>Pérdida por abrasión, g</b>	<b>Adhesión % cubierto</b>	<b>Integridad % retenido</b>
A	4	0 - 0,7	90 – 100	90 – 100
B	3	0,7 – 1,0	75 – 90	75 – 90
C	2	1,0 – 1,3	50 – 75	50 – 75
D	1	1,3 – 2,0	10 – 50	10 – 50
0	0	2,0 +	0	0



## **8.302.44 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de permeabilidad in situ en mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y bermas.

\*El Método 8.302.44 es una adaptación de NLT 327/88

### **2.- Referencias.**

- Norma NLT 327/88; MOPT, España
- NCAT Report N° 99-1. Permeability of Mixtures: Evaluation of Field Permeameters.

### **3.- Aparatos y Materiales Necesarios.**

**3.1** Permeámetro LCS o de carga variable, representado en la Lámina 8.302.44.A y constituido básicamente por los siguientes elementos:

- a) Una base de apoyo formada por una placa rígida circular de acero, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio circular en su centro de 40 mm de diámetro.
- b) Un tubo cilíndrico circular, de 40 mm de diámetro exterior, 30 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, embutido, como se indica en la figura, en el orificio circular de la base de apoyo.
- c) Un tubo cilíndrico transparente de 94 mm de diámetro interior y unos 500 mm de altura, unido rígidamente y con cierre estanco a la base de apoyo. El tubo debe tener marcadas dos señales de medida, grabadas en todo su perímetro y situadas respectivamente a 100 y 350 mm desde el fondo de la base de apoyo.
- d) Un peso teórico de  $20 \pm 0,5$  kg de masa, cuyo orificio y base permitan un apoyo estable sobre la base circular.
- e) Un anillo circular estanco de caucho celular de 16 mm de espesor, que se adapte perfectamente a las irregularidades superficiales del pavimento para impedir el escape superficial del agua durante el ensaye.

**3.2** Una reserva de agua de al menos 20 l por ensaye.

**3.3** Un cronómetro que tenga una precisión de 0,5 s.

### **4.- Procedimiento de Ensaye.**

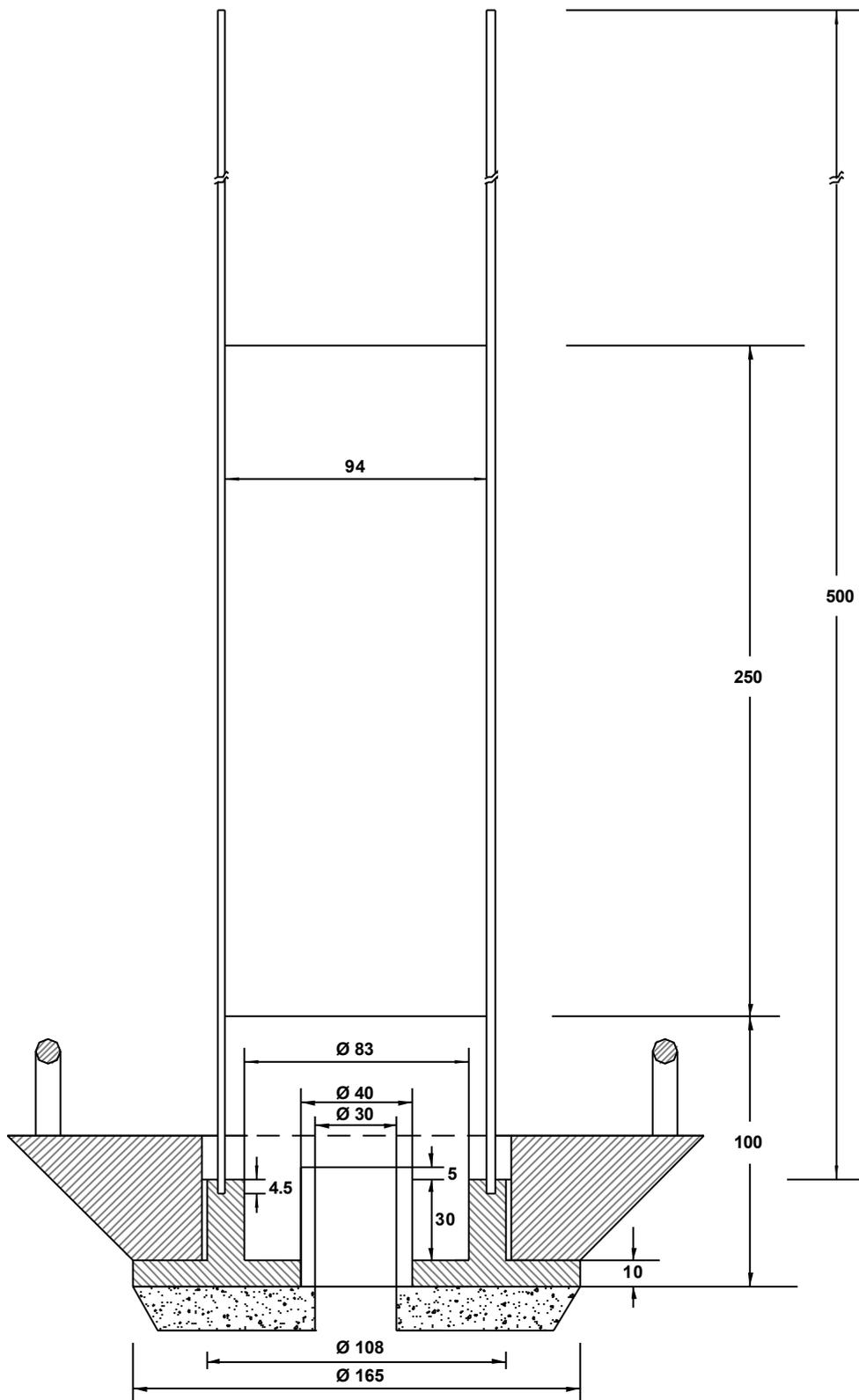
**4.1** Sitúe el Permeámetro en el punto elegido para el ensaye y coloque el peso teórico sobre la base.

**4.2** A continuación, llene de agua el tubo transparente del Permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida y luego deje que se vacíe para mojar y saturar el pavimento en la zona de ensaye.

**4.3** Seguidamente, vuelva a llenar de la misma forma el permeámetro y anote el tiempo de evacuación, en segundos, que tarda el nivel de agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

**5.- Resultados.** Los resultados del ensaye realizado sobre un punto del pavimento corresponden al tiempo en segundos obtenido según el punto 4.3.

**6.- Informe.** Registrar el tiempo obtenido en sección 5.



Dimensiones en mm.

## 8.302.45 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LECHADAS ASFALTICAS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se utiliza para determinar la cantidad óptima de agua requerida para formar una mezcla estable y trabajable.

El Método 8.302.45 es una adaptación de la norma ASTM D 3910 – 96.

### 2.- Referencias.

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: método para el cuarteo de muestras.
- ISSA N° 106 Technical Bulletin “ Measurement of Slurry Seal Consistency ”, 1990.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Molde.** Metálico, con forma tronco - cónica, de  $40 \pm 3$  mm de diámetro interno en la parte superior,  $90 \pm 3$  mm de diámetro interno en la parte inferior y  $75 \pm 3$  mm de altura. Estará confeccionado con una plancha metálica de espesor mínimo 0,8 mm.

**3.2 Placa de Ecurrimiento.** Placa metálica cuadrada de  $250 \pm 5$  mm y de 3 mm de espesor mínimo, alrededor de cuyo centro lleva trazado una serie de seis círculos concéntricos, el menor de 89 mm de diámetro y los cinco restantes con radios crecientes en 10 mm. ( Lámina 8.302.45.A ).

**Nota 1:** Como alternativa puede utilizar hojas de papel de una calidad mínima equivalente a  $75 \text{ g/m}^2$  (papel para fotocopia), que lleven impresos los círculos descritos en el punto 3.2, las que se desechan luego de cada ensaye.

**3.3 Horno.** De convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

**3.4 Balanzas.** De capacidad mínima de 2.000 g y una resolución de 0,1 g.

**3.5 Otros.** Bol y espátula.

### 4.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.

**4.1** Reduzca por cuarteo, de acuerdo con el Método 8.202.2, la muestra de agregado integral proveniente de terreno a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensaye.

**Nota 2:** La masa total de muestra requerida para el ensaye dependerá del número de determinaciones por realizar.

**4.2** Seque en horno la muestra obtenida según 4.1 a una temperatura de  $110^\circ\text{C}$  hasta masa constante. Enfríe la muestra a temperatura ambiente. Obtenga por cuarteo, de acuerdo al Método 8.202.2, muestras de aproximadamente 600 g de material seco.

**Nota 3:** De ser necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los que deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

**4.3** Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

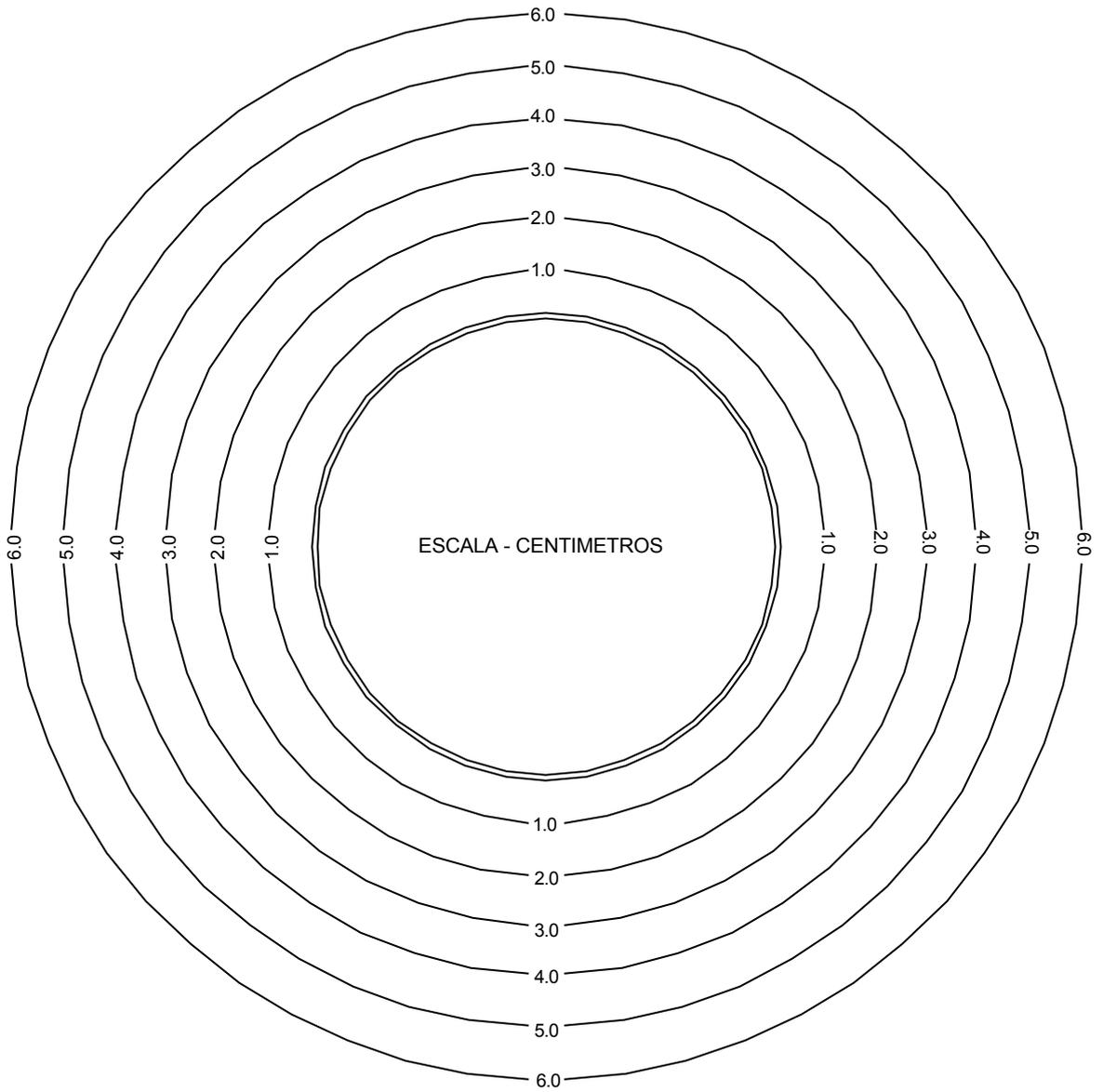
## 5.- Procedimiento de Ensaye.

- 5.1** Antes de confeccionar las mezclas todos los materiales deben mantenerse a 25°C durante, al menos, 60 min.
- 5.2** Tome una muestra de 600 g , obtenida según 4.2, e incorpórela una determinada cantidad de agua (porcentaje referido al agregado seco).
- 5.3** Mezcle hasta obtener un color uniforme.
- 5.4** Incorpore la cantidad correspondiente de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min ni superior por 3 min.
- 5.5** Coloque el molde sujeto firmemente sobre la placa de escurrimiento, con su diámetro mayor hacia abajo y céntralo.
- 5.6** Llene el molde con la mezcla.
- 5.7** Levante con cuidado el molde verticalmente y deje que la mezcla fluya sobre la base graduada, hasta que se detenga.
- 5.8** Registre el desplazamiento en centímetros alcanzado por la mezcla en cuatro puntos de la escala de círculos de la base graduada, separados entre sí en 90° y con aproximación de 0,5 cm.

**6.- Expresión de Resultados.** El resultado del ensaye será el valor medio de las cuatro lecturas realizadas según 5.8, con aproximación a 1 decimal.

**7.- Informe.** El informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Tipo de emulsión empleada.
- b) Porcentaje de emulsión utilizado.
- c) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al agregado seco.
- d) Valor promedio de desplazamiento en centímetros registrado por la mezcla.
- e) La referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensaye o a los materiales utilizados.





## **8.302.46 ASFALTOS: METODO DE ABRASION EN MEDIO HUMEDO PARA LECHADAS ASFALTICAS\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se utiliza para determinar la resistencia al desgaste por abrasión bajo agua de probetas de lechada asfáltica; es una simulación que correlaciona el comportamiento en laboratorio con el desempeño a escala real de las lechadas asfálticas.

Mediante este procedimiento se determina el contenido mínimo de ligante necesario para obtener una lechada con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tránsito.

\*El Método 8.302.46 es una adaptación de la norma ASTM D 3910 – 96.

### **2.- Referencias.**

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: método para el cuarteo de muestras.
- ISSA N° 100 Technical Bulletin "Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces", 1990.
- NLT- 320/87 "Abrasión por Vía Húmeda de Lechadas Bituminosas".

**3.- Resumen del Método.** Una probeta confeccionada con lechada asfáltica, previamente curada en horno, se sumerge en agua y se somete a la acción abrasiva de un cilindro de goma que roza su superficie en forma orbital. Como resultado del ensaye se obtiene la pérdida de masa que experimenta la probeta.

### **4.- Aparatos.**

**4.1 Balanzas.** Una de capacidad 5.000 g y resolución de 1 g y otra de capacidad 2.000 g y resolución de 0,1 g.

**4.2 Revolvedora Mecánica Planetaria (máquina de abrasión).** Equipada con un motor capaz de hacer girar, mediante un sistema planetario, un eje vertical con un doble movimiento de rotación y circular de traslación. En el extremo inferior del eje va montado el cabezal de abrasión que roza directamente la probeta. La velocidad de rotación del cabezal de abrasión debe ser 144 rpm. El peso del conjunto, soporte más goma de abrasión, es de 2.270 g (Lámina 8.302.46.A). El eje del cabezal debe tener un recorrido libre vertical de 12,7 mm.

**4.3 Recipiente Metálico.** De fondo plano con paredes verticales laterales de 50 mm de altura mínima. Debe disponer de cuatro mordazas igualmente espaciadas, capaces de asegurar a la base del recipiente una probeta de  $279 \pm 1$  mm de diámetro.

**4.4 Moldes.** Deben tener forma de anillo circular con un diámetro interno de  $279 \pm 1$  mm, un espesor mínimo de 9 mm y alturas de  $6,3 \pm 0,5$  mm,  $8,2 \pm 0,5$  mm y  $10,5 \pm 0,5$  mm, dependiendo del tamaño máximo del agregado empleado.

**Nota 1:** La altura del molde debe ser, como mínimo, un 15% superior al tamaño máximo absoluto del agregado empleado en la confección de la lechada asfáltica.

**4.5 Base para Probetas.** Debe ser de plástico rígido o metal, forma cuadrada de lado mínimo 300 mm y espesor igual o superior a 2 mm.

**4.6 Goma de Abrasión.** Fabricada con una cubierta de doble tela para una presión de 25 atm y una dureza de 80 grados Shore. Debe tener un diámetro externo de  $31 \pm 0,5$  mm, un diámetro interno de  $19 \pm 0,5$  mm y una longitud de  $127 \pm 1$  mm.

**4.7 Horno.** De convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

**4.8 Baño de Agua.** Capaz de controlar y mantener una temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

**4.9 Otros.** Bol, espátula, cronómetro, enrasador metálico, piseta, vaselina sólida y papel mantequilla.

#### **5.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**5.1** Reduzca por cuarteo, de acuerdo al Método 8.202.2, la muestra de agregado proveniente de terreno a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensaye.

**Nota 2:** La masa total de muestra requerida para el ensaye dependerá del número de determinaciones por realizar.

**5.2** Seque la muestra obtenida en 5.1 en horno hasta masa constante a una temperatura de  $110^\circ\text{C}$ .

**5.3** Enfríe la muestra a temperatura ambiente.

**5.4** Obtenga por cuarteo, de acuerdo al Método 8.202.2, muestras de aproximadamente 1.000 g de material seco.

**Nota 3:** Si fuere necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los cuales deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

**5.5** Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

#### **6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** Antes de confeccionar las mezclas, todos los materiales deben mantenerse a  $25^\circ\text{C}$  durante, al menos, 60 min.

**6.2** Cubra con papel mantequilla la base para probetas y esparza sobre él una capa delgada de vaselina sólida.

**6.3** Centre el molde elegido según 4.4 sobre la base para probetas, preparada de acuerdo con 6.2.

**6.4** Tome una de las muestras de 1.000 g e incorpórole una determinada cantidad de agua (porcentaje referido al agregado seco).

**6.5** Mezcle hasta obtener un color uniforme.

**6.6** Incorpore la cantidad correspondiente de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min ni superior que 3 min.

**6.7** Vacíe la mezcla dentro del molde y enrascé con el mínimo de manipulación.

**6.8** Coloque la mezcla con molde y base en un horno a  $60^\circ\text{C}$  y seque hasta masa constante (mínimo 15 h).

**6.9** Desmolde la probeta y deje enfriar a temperatura ambiente.

**6.10** Pese la probeta y registre su masa como  $M_i$ .

**6.11** Coloque la probeta en un baño de agua a  $25^\circ\text{C}$  durante 60 a 75 min.

**6.12** Saque la probeta del agua y colóquela en el recipiente metálico de la máquina de abrasión, fijándola con las mordazas.

- 6.13** Cubra completamente la probeta con agua a 25°C. La altura del agua sobre la probeta deberá ser de 6 mm como mínimo.
- 6.14** Apoye libremente el cabezal de abrasión sobre la superficie de la probeta; asegúrese de la perpendicularidad del eje del cabezal con la superficie de la probeta.
- 6.15** Ponga en marcha la máquina de abrasión durante 5 min.
- 6.16** Determine el área ( $m^2$ ) de la probeta sometida a desgaste; désignela como A.
- 6.17** Retire la probeta de la máquina de abrasión y lávela removiendo todo el material suelto.
- 6.18** Seque la probeta en un horno a 60°C hasta masa constante.
- 6.19** Retire la probeta del horno y deje enfriar a temperatura ambiente.
- 6.20** Pese la probeta y registre su masa como  $M_f$ .

**7.- Cálculos.** Determine el desgaste por abrasión bajo agua con la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D.B.A = \frac{M_i - M_f}{A} \text{ (g/m}^2\text{)}$$

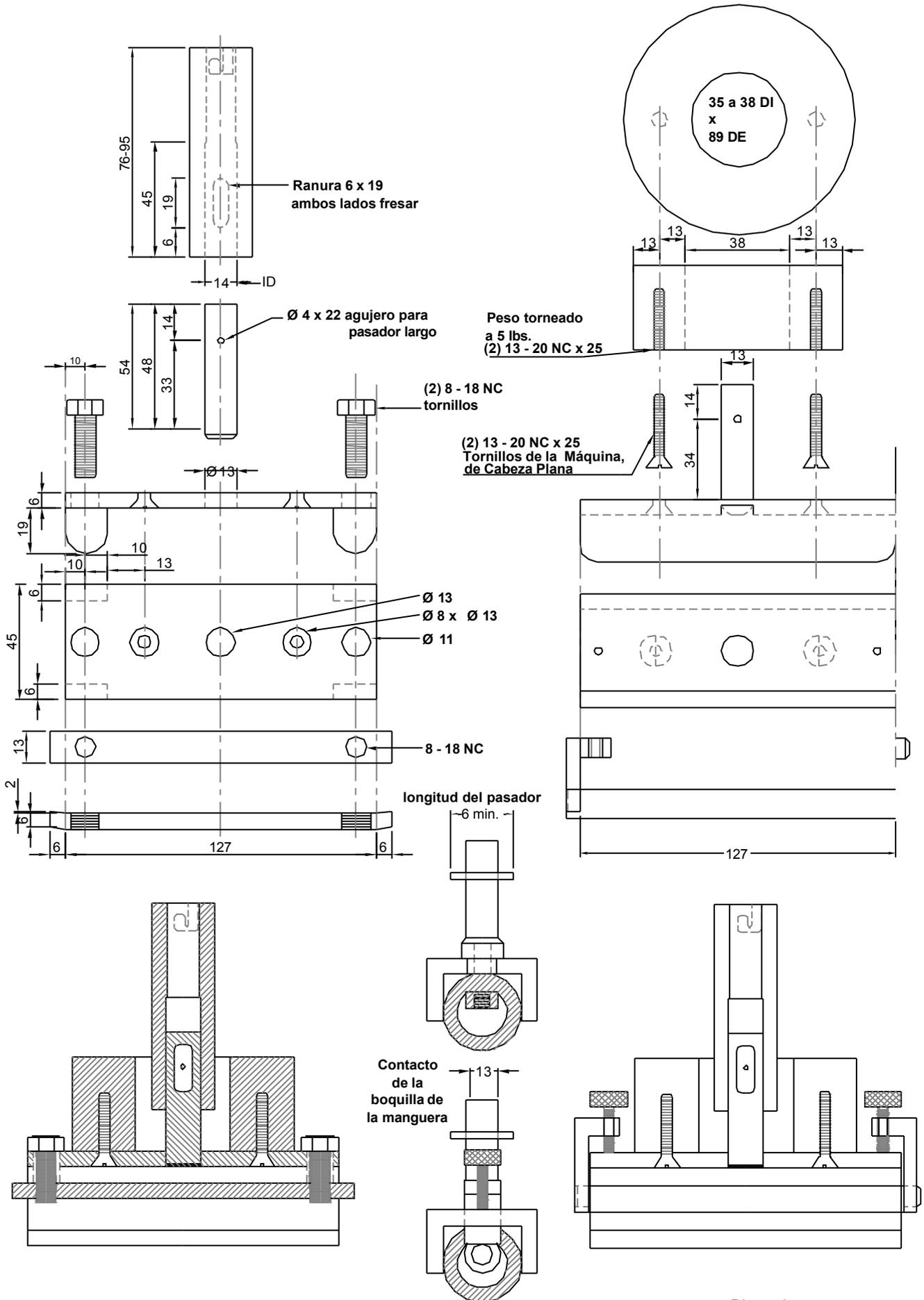
donde:

- D.B.A. : Desgaste por abrasión bajo agua ( $g/m^2$ ).
- $M_i$  : Masa de la probeta seca antes del desgaste (g).
- $M_f$  : Masa de la probeta seca después del desgaste (g).
- A : Area de desgaste de la probeta de lechada asfáltica ( $m^2$ ).

**8.- Presentación de los Resultados.** El resultado del ensaye será el valor promedio de tres determinaciones, aproximando a números enteros.

**9.- Informe.** El informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Tipo de emulsión empleada.
- b) Porcentaje de emulsión utilizado.
- c) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al agregado seco.
- d) Valor promedio de desgaste por abrasión bajo agua ( $g/m^2$ ).
- e) Referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensaye o a los materiales utilizados.



## 8.302.47 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO MARSHALL

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

### 2.- Referencias.

- Método 8.302.37 Asfaltos: método para determinar la densidad máxima de mezclas bituminosas sin compactar.
- Método 8.302.38 Asfaltos: método para determinar la densidad real de mezclas bituminosas compactadas.
- Método 8.302.2 Asfaltos: método para determinar la densidad del asfalto.
- Método 8.302.40 Asfaltos: método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall
- Método 8.202.20 Agregados pétreos: método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos gruesos.
- Método 8.202.21 Agregados pétreos: método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos finos.
- Método 8.402.1 Hormigón: método para determinar la densidad del cemento hidráulico.

### 3.- Determinaciones Previas.

**3.1** Determine la densidad real seca de cada agregado que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere, de acuerdo a los métodos 8.202.20, 8.202.21 o 8.402.1, según corresponda.

**3.2** Determine la densidad del cemento asfáltico a 25 ° C según Método 8.302.2.

**3.3** Determine la densidad máxima de la mezcla suelta según Método 8.302.37, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.

**3.4** Prepare las probetas según Método 8.302.40.

**3.5** Determine las densidades de las probetas compactadas, según Método 8.302.38.

**3.6** Mida la Estabilidad y la Fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall, según Método 8.302.40.

**Nota 1:** Dado que la densidad real seca del filler mineral es difícil de determinar en forma precisa, se recomienda utilizar el método de Le Chatelier (Método 8.402.1).

### 4.- Cálculos.

**4.1 Cálculo de la Densidad Real Seca Ponderada de la Mezcla de Agregados.** Cuando la mezcla está compuesta por dos o más agregados, todos con diferentes densidades reales, calcule la densidad real seca de la mezcla de agregados de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{RS} = P_1 \cdot \rho_{RS1} + P_2 \cdot \rho_{RS2} + \dots + P_n \cdot \rho_{RSn}$$

donde:

- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca de la mezcla de agregados.  
 $P_1, P_2, \dots, P_n$  : Porcentajes en peso de los agregados 1, 2, ... n, expresados en forma decimal.  
 $\rho_{RS1}, \rho_{RS2}, \dots, \rho_{RSn}$  : Densidades reales secas de los agregados 1, 2, ... n.

**4.2 Cálculo de la Densidad Efectiva del Agregado.** Calcule la densidad efectiva del agregado mediante la expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mm}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

donde:

- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla suelta ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**Cálculo del Porcentaje de Asfalto Absorbido.** El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al agregado y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left( \frac{1}{\rho_{RS}} - \frac{1}{\rho_E} \right) \times \rho_b \times 100$$

donde:

- $P_{ba}$  : Porcentaje de asfalto absorbido, referido al agregado (%).
- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.4 Cálculo de la Densidad Máxima de la Mezcla para Distintos Contenidos de Asfalto.** Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer  $D_{mm}$  para cada porcentaje de asfalto considerado. Si bien esto se puede hacer a través del Método 8.302.37 para cada contenido de asfalto, la precisión del ensaye es mejor cuando se aproxima al contenido de asfalto óptimo.

Una vez obtenida la  $D_{mm}$  para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del agregado, calcule la  $D_{mm}$  de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{\rho_E} + \frac{P_b}{\rho_b}}$$

donde:

- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo a 4.2.
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.5 Contenido de Asfalto Útil.** El contenido de asfalto útil ( $P_{bu}$ ) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el agregado. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P_{bu} = P_b - P_{ba}$$

donde:

- $P_{bu}$  : Porcentaje de asfalto útil referido al agregado (%).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $P_{ba}$  : Porcentaje de asfalto absorbido referido al agregado (%).

**4.6 Cálculo de los Vacíos en el Agregado Mineral.** El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 \times \left( 1 - \frac{G}{\rho_{RS}} \times \frac{100}{100 + Pb} \right)$$

donde:

- VAM : Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).
- G : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- Pb : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

**4.7 Cálculo del Porcentaje de Huecos de Aire en la Mezcla.** El porcentaje de huecos de aire en la mezcla ( $V_a$ ), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_a = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

donde:

- $V_a$  : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).
- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo a 4.4.
- G : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.8 Cálculo del Porcentaje de Huecos Llenos con Asfalto.** El porcentaje de huecos llenos con asfalto ( $V_{LL}$ ), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_{LL} = 100 \times \left( 1 - \frac{V_a}{VAM} \right)$$

donde:

- $V_{LL}$  : Porcentaje de huecos llenos con asfalto (%).
- $V_a$  : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).
- VAM : Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).

## 5.- Acondicionamiento de los Datos.

**5.1** Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para ello los factores de corrección indicados en Tabla 8.302.40.A del Método 8.302.40.

**5.2** Calcule el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.

**5.3** Confeccione los siguientes gráficos, uniéndolos mediante una curva suave todos los puntos obtenidos:

- a) Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.
- b) Fluencia v/s porcentaje de asfalto.
- c) Densidad v/s porcentaje de asfalto.
- d) Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.
- e) VAM v/s porcentaje de asfalto.

## 6.- Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.

### 6.1 Capa de Rodadura.

- a) Determine el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. De dichas curvas se determinan los porcentajes de asfalto ( Pb ) que entreguen:
- Máxima estabilidad (Pb<sub>1</sub>).
  - Máxima densidad (Pb<sub>2</sub>).
  - Contenido de asfalto para un 5% de huecos ( Pb<sub>3</sub>).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb \text{ óptimo} = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

- b) Verifique que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccione una nueva serie de muestras.

**6.2 Capa de Base y Capa Intermedia (Binder).** Seleccione como contenido óptimo de asfalto el porcentaje de ligante que, con una tolerancia de  $\pm 0,5$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

**7.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

**7.1 Identificación de los Materiales.** Indique procedencia, lugar y fecha de muestreo, tanto del asfalto como del agregado.

**7.2 Agregados.** Indique los siguientes análisis para cada agregado:

- a) Granulometría.
- b) Densidad Aparente Suelta.
- c) Densidad Real Seca.
- d) Densidad Neta.
- e) Desgaste de Los Angeles.
- f) Índice de Plasticidad.
- g) Equivalente de Arena.
- h) Cubicidad de Partículas.
- i) Dosificación de Agregados.
- j) Granulometría de la Mezcla de Agregados.

**Nota 1:** En la confección del informe se debe incluir las correspondientes especificaciones de obra.

### 7.3 Asfalto.

- a) Certificados de Control de Calidad.
- b) Densidad.

### 7.4 Mezcla Agregado Pétreo – Asfalto.

- a) Densidad Máxima de la Mezcla.
- b) Adherencia.
- c) Porcentaje de Asfalto Absorbido Referido al Agregado.
- d) Temperatura de Mezclado.
- e) Temperatura de Compactación de las Probetas.

### 7.5 Análisis Marshall.

- a) Para cada contenido de asfalto considerado se debe incluir:
  - Densidad.
  - Huecos en la Mezcla.
  - Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).
  - Estabilidad.
  - Fluencia.
- b) Gráficos de Densidad, Huecos, VAM, Estabilidad y Fluencia con respecto a cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.
- c) Fórmula de Trabajo. Esta comprende:
  - Banda de Trabajo, con las siguientes tolerancias:

Tamiz 5 mm (N° 4) y superiores.	: ± 5 puntos porcentuales.
Tamices 2,5 mm (N° 8) y 1,25 mm (N° 16).	: ± 4 puntos porcentuales.
Tamices 0,63 mm (N° 30) y 0,315 mm (N° 50).	: ± 3 puntos porcentuales.
Tamiz 0,16 mm (N° 100).	: ± 2 puntos porcentuales.
Tamiz 0,08 mm (N° 200).	: ± 1,5 puntos porcentuales.
  - Contenido Optimo de Asfalto para Capas de Rodadura. : ± 0,3 puntos porcentuales.
  - Contenido Optimo de Asfalto para Capas de Base o Intermedia : ± 0,5 puntos porcentuales.
  - Densidad de Diseño.
  - Temperatura de Mezclado.
  - Temperatura de Inicio de Compactación.

**Nota 2:** La banda de trabajo podrá salirse de la especificada siempre que la curva granulométrica de diseño quede totalmente comprendida en la banda especificada.



## 8.302.48 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de agregados de graduación abierta.

### 2.- Preparación del Agregado.

**2.1** Someta el agregado a los ensayos de calidad especificados.

**2.2** Separe el agregado en cada una de las siguientes fracciones: 25 - 20; 20 - 12,5; 12,5 - 5 y bajo 5 mm, de modo de reconstituir posteriormente la granulometría del material en mezclas de prueba.

**2.3** Determine la constante de absorción del agregado grueso de acuerdo con el Método 8.202.35.

**2.4** Determine el área superficial de acuerdo con el Método 8.202.13.

### 3.- Contenido de Ligante.

El contenido del ligante se determina de acuerdo a las expresiones siguientes:

#### 3.1 Mezclas con Emulsión Asfáltica.

$$E(\%) = 1,5 \cdot K_c + 3,5$$

donde:

- E : Porcentaje de emulsión tentativo referido al agregado seco.  
K<sub>c</sub> : Constante de absorción del agregado grueso.

#### 3.2 Mezclas con Cemento Asfáltico.

$$CA(\%) = 1,5 \cdot K_c + 1,0$$

donde:

- CA: Porcentaje tentativo de cemento asfáltico referido al agregado.  
K<sub>c</sub> : Constante de absorción del agregado grueso.

### 4.- Mezclas de Prueba con Emulsiones Asfálticas.

**4.1** Reconstituya la granulometría del agregado, previamente separado en fracciones, en muestras representativas de 500 g. Prepare entre 15 y 20 muestras, que deben colocarse en envases sellados para prevenir la pérdida de humedad.

**4.2** Determine la humedad de cada una de las muestras, secándolas hasta masa constante a una temperatura de 110 ± 5°C.

**4.3** Coloque una muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de emulsión determinada en 3.1.

**4.4** Mezcle manualmente en el bol, usando una espátula cuadrada (25 mm de ancho), durante 30 a 45 s. Evalúe y registre el tiempo de revoltura; las mezclas aceptables se rigidizan después de 30 a 45 s de mezclado.

**4.5** Coloque toda la mezcla en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje que la mezcla drene durante 30 min.

Si drena, coloque el recipiente que contiene el exceso de líquido en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y seque hasta masa constante. Determine su peso final y calcule el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso agregado}} \times 100$$

Saque la muestra del embudo y colóquela en un horno ventilado hasta masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**4.6** Evalúe la mezcla, después de secada superficialmente, de acuerdo a lo siguiente:

- a) Espesor del cubrimiento: Esta es una observación visual y debe registrarse como delgada, media o gruesa.
- b) Porcentaje de partículas cubiertas: También es una observación visual y se debe registrar un valor estimado.
- c) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.

**4.7** Confeccione mezclas de prueba con el contenido de emulsión determinado en 3.1, siguiendo los pasos desde 4.3 a 4.6, pero adicionando agua al agregado antes de agregar la emulsión. El agua se añade incrementando en 0,5 puntos porcentuales en cada porción adicional. Continúe hasta que se aprecie un exceso de líquido drenado.

**4.8** Confeccione mezclas de prueba con contenidos de emulsión de 1 punto porcentual sobre y bajo el determinado en 3.1, siguiendo los pasos desde 4.3 a 4.7.

## **5.- Mezclas de Prueba con Cementos Asfálticos.**

**5.1** Seque a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  las fracciones previamente separadas y reconstituya muestras representativas de 500 g.

**5.2** La temperatura de mezclado del asfalto debe ser tal que produzca una viscosidad mayor o igual que 300 cSt (150 SFS), manteniéndose lo más baja posible compatible con un adecuado cubrimiento del agregado. Caliente el agregado a una temperatura no mayor que  $20^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura del asfalto.

**5.3** Coloque la muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de cemento asfáltico establecida en 3.2.

**5.4** Mezcle manualmente durante 30 a 45 s.

**5.5** Coloque la muestra en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje drenar la mezcla durante 30 min en un horno a la temperatura de  $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Si drena, determine el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso agregado}} \times 100$$

**5.6** Saque la muestra del embudo y colóquela en un recipiente plano y evalúela de acuerdo a lo siguiente

- a) Espesor del cubrimiento.

- b) Porcentaje de partículas cubiertas.
- c) Trabajabilidad.
- d) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.

**5.7** Repita los pasos desde 5.3 a 5.6 con muestras con un contenido de 0,5 puntos porcentuales sobre y bajo el contenido determinado en 3.2.

## **6.- Cálculos.**

**6.1** Contenido de asfalto efectivo es el contenido de asfalto residual de la emulsión o cemento asfáltico adicionados, menos el porcentaje de asfalto drenado.

**6.2** Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.

**6.3** La tolerancia para calcular el porcentaje efectivo de cemento asfáltico es  $\pm 0,5$  puntos porcentuales.

**6.4** Se confeccionarán probetas Marshall con 50 golpes por cara, para calcular el porcentaje máximo de cemento asfáltico.

**6.5** El contenido máximo de cemento asfáltico se obtiene para el valor de 0,8 MPa del ensaye de resistencia a la penetración utilizando el equipo Marshall, con una velocidad de 2,0 mm/min.

**7.- Evaluación.** El contenido de asfalto de diseño se selecciona evaluando los datos registrados; deben verificarse las siguientes exigencias:

- a) Cubrimiento : 90 - 100%.
- b) Espesor del cubrimiento : medio a grueso.
- c) Exceso de asfalto : inferior que 0,15 puntos porcentuales
- d) Trabajabilidad : la mezcla con emulsión se debe mantener trabajable durante 15 s.

**8.- Informe.** El Informe debe contener lo siguiente:

- a) Identificación del contrato y contratista.
- b) Identificación de los materiales.
- c) Características de los agregados.
- d) Banda de trabajo, con la tolerancia indicada en el Método 8.302.47 (numeral 7.5 c)
- e) Contenido de asfalto con tolerancia de -0,3 y +1,0%. La emulsión se debe expresar como residuo asfáltico.
- f) Para mezcla en caliente, temperatura de mezclado



## 8.302.49 ASFALTOS: METODO THOMAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método es aplicable a mezclas ligadas con asfaltos cortados y con agregados que no sean de graduación abierta, cuyo tamaño máximo sea menor o igual que 25 mm.

### 2.- Referencias.

- Método 8.302.35 Asfaltos: Método para determinar el contenido de ligante mediante el equivalente centrífugo de kerosene (ECK).
- Método 8.302.38 Asfaltos: Método para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.
- Método 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- Método 8.302.47 Asfaltos: Método de diseño Marshall.

### 3.- Procedimiento.

**3.1** Confeccione una serie de probetas con distintos contenidos de asfalto y ensáyelas según Método 8.302.40; previamente determine su densidad de acuerdo con el Método 8.302.38.

**3.2** Determine el óptimo teórico Hveem según el Método 8.302.35.

### 4.- Cálculos.

#### 4.1 Optimo Marshall.

a) Factor de corrección. Determine el factor de corrección K mediante la expresión:

$$K = \frac{0,75 \times R}{100} + 0,25$$

donde:

R : Residuo asfáltico en el asfalto cortado (%).

b) Calcule los huecos en la mezcla y los vacíos en el agregado mineral según Método 8.302.47; excepto que se considera que:

$$P_b = K \times AC$$

donde:

K : Factor corrección 4.1 a)

AC : Asfalto cortado (%)

c) Construya los siguientes gráficos:

- % Asfalto cortado v/s densidad.
- % Asfalto cortado v/s estabilidad.
- % Asfalto cortado v/s huecos en la mezcla.
- % Asfalto cortado v/s fluidez .
- % Asfalto cortado v/s vacíos en el agregado mineral.

d) Determine el contenido de asfalto óptimo según procedimiento Marshall, de acuerdo a lo siguiente:

$$Pb \text{ (opt)} = \frac{Pb \text{ (E)} + Pb \text{ (D)} + Pb \text{ (Va)}}{3}$$

donde:

- Pb (E) : Asfalto cortado para máxima estabilidad (%)
- Pb (D) : Asfalto cortado par máxima densidad (%)
- Pb (Va) : Asfalto cortado para el promedio de especificaciones de huecos en la mezcla (%).(Considerar 4% Capas y 5.5% Bases)

**Nota 1:** Los requisitos de exigencia Marshall, esto es estabilidad, fluidez, huecos en la mezcla y VAM, sólo se exigen en esta etapa del diseño.

**Nota 2:** Si las curvas de densidad y/o estabilidad no presentan máximos, seleccione como contenido de asfalto óptimo, aquel porcentaje que, con una tolerancia de  $\pm 0,5$ , cumpla con los requisitos Marshall exigidos.

**5.- Contenido de Diseño.** Determine el contenido de asfalto cortado de diseño, ponderando los óptimos Marshall y Teórico Hveem de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 8.302.49.A.

**TABLA 8.302.49.A**  
**CONTENIDO DE ASFALTO DE DISEÑO**

Mezcla	Tránsito	% Marshall	% Hveem
Capa	Liviano	65	35
Capa	Mediano	60	40
Capa	Pesado	50	50
Base	Todo tipo	50	50

**6.- Informe.** El informe debe incluir los siguientes puntos:

**6.1 Identificación de los Materiales.**

**6.2 Análisis para Cada uno de los Agregados.**

- Granulometría.
- Densidad aparente suelta.
- Densidad real seca.
- Densidad neta.
- Desgaste Los Angeles.
- Índice de plasticidad.
- Equivalente de arena.

**6.3 Análisis del Asfalto.**

- Ensayes de calidad.
- Densidad.

**6.4 Mezcla de Agregados.**

- Dosificación.
- ECK.
- Area superficial.
- Retenido en Aceite.

**6.5 Mezcla Agregado – Asfalto.**

- Densidad Máxima mezcla.
- Adherencia.
- Absorción de Asfalto.

**6.6 Análisis Marshall.** Para cada contenido de asfalto cortado se debe incluir:

- Densidad.
- Estabilidad.
- Fluidez.
- Vacíos Agregado Mineral (VAM).
- Huecos en la mezcla.
- Gráfico de cada uno de estos parámetros con respecto a los porcentajes de asfalto cortado

**6.7 Procedimiento ECK.** Se debe incluir:

- Constante absorción superficial agregado fino (Kf).
- Constante absorción superficial agregado grueso (Kc).
- Constante absorción superficial mezcla agregados (Km).
- Razón de aceite.

**6.8 Fórmula de Trabajo.**

- Banda de trabajo.
- Contenido de asfalto cortado de diseño.
- Densidad de diseño.
- Temperatura aplicación asfalto.



## 8.302.50 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define el procedimiento a emplear para la dosificación de tratamientos superficiales consistentes en aplicaciones consecutivas de ligante asfáltico y agregado pétreo. Los tratamientos superficiales, pueden ser de tipo simple, doble o triple. Este método puede ser aplicado también a la dosificación de sellos de agregados.

Este método se basa en el procedimiento de la Dimensión Mínima Promedio desarrollado por Hanson y modificado posteriormente por McLeod.

### 2.- Terminología.

**2.1 Tratamiento Superficial.** Superficie de rodadura que se aplica sobre una base granular y consiste en un riego de ligante asfáltico seguido de una cobertura de agregado pétreo. Un tratamiento superficial doble o triple consiste en dos o tres tratamientos aplicados consecutivamente, uno sobre otro.

**2.2 Sello de Agregados.** Consiste en la aplicación de un riego de ligante asfáltico recubierto por agregados pétreos sobre superficies pavimentadas. También es posible aplicar sellos dobles de agregados.

**2.3 Embebido.** Porcentaje del volumen de huecos en el agregado, que es ocupado por el ligante residual utilizado en el sello o tratamiento. El embebido es una propiedad que se define en el momento en que el agregado del tratamiento se ha asentado y ha alcanzado su posición definitiva.

### 3.- Referencias.

- Método 8.202.3 Agregados Pétreos: método para tamizar y determinar la granulometría.
- Método 8.202.6 Agregado Pétreo: método para determinar la cubicidad de las partículas
- Método 8.202.7 Agregados Pétreos: método para determinar el índice de lajas.
- Método 8.202.19 Agregados Pétreos: método para determinar la densidad aparente.
- Método 8.202.20 Agregados Pétreos: método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.
- Método 8.302.5 Asfaltos: métodos de ensaye para emulsiones.

### 4.- Determinaciones Previas.

**4.1 Parámetros del Asfalto.** Se debe determinar el porcentaje de residuo asfáltico (R) del ligante (normalmente emulsión), de acuerdo con el Método 8.302.5. Este ensaye se puede omitir si la muestra de ligante se suministra acompañada del certificado de ensaye respectivo.

**4.2 Parámetros del Agregado.** Se deben determinar los siguientes parámetros del agregado:

- a) Granulometría. La granulometría se determina de acuerdo con el Método 8.202.3.
- b) Tamaño Medio del Agregado. El tamaño medio (TM) corresponde a la abertura (mm) del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado. Se obtiene en forma analítica a partir de la granulometría, mediante interpolación.
- c) Forma de Partículas. Este parámetro influye en la dimensión mínima promedio de las partículas. Para tratamientos superficiales se recomienda que las partículas sean de preferencia cúbicas. Esta condición se evalúa mediante el ensaye de Índice de Lajas, Método 8.202.7.
- d) Dimensión Mínima Promedio (H). Corresponde al promedio de la dimensión mínima de todas las partículas que componen el agregado. Se determina mediante la ecuación (1).

$$H(\text{mm}) = \frac{TM}{1,09 + (0,0118 \times IL)} \quad (1)$$

donde:

- H : Dimensión mínima promedio (mm).  
 TM : Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50 % del agregado (mm).  
 IL : Índice de Lajas (%).

e) Densidades. Se debe determinar la densidad aparente suelta y la densidad real seca del agregado.

- Densidad aparente suelta. Se determina la densidad aparente suelta del agregado de acuerdo con el Método 8.202.19.
- Densidad real seca. Se determina la densidad real seca del agregado de acuerdo con el Método 8.202.20.
- Contenido de vacíos. Se determina el contenido de vacíos (V) del agregado, de acuerdo a la ecuación (2).

$$V = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_{RS}} \quad (2)$$

donde:

- V : Contenido de huecos, expresado en forma decimal.  
 $\rho_{as}$  : Densidad aparente suelta del agregado (kg/dm<sup>3</sup>).  
 $\rho_{RS}$  : Densidad real seca del agregado (kg/dm<sup>3</sup>).

**4.3 Parámetros de Diseño del Tratamiento.** Los siguientes parámetros de dosificación, se deben determinar en función de las características del proyecto:

a) Factor de Desperdicio (E). Este factor es una corrección para tomar en cuenta las pérdidas de agregado que se producen durante la construcción. Depende del tipo y estado del equipo mecánico utilizado y los procedimientos usados. A falta de un valor de registro histórico, se pueden usar los valores mostrados en la Tabla 8.302.50.A.

**TABLA 8.302.50.A  
FACTOR DE DESPERDICIO**

H (mm)	Desperdicio %	Factor de Desperdicio E
< 6,5	5	1,05
6,5 - 8,0	4	1,04
8,1 - 9,5	3	1,03
> 9,5	2	1,02

b) Factor de Tránsito (T). El volumen de tránsito, en particular el tránsito pesado, aumenta el embebido del agregado en el tratamiento. Este factor permite incorporar en la dosificación el efecto del tránsito en el embebido del agregado. Se obtiene de la Tabla 8.302.50.B.

**TABLA 8.302.50.B  
FACTOR DE TRANSITO**

Volumen de Tránsito <sup>(1)</sup> (veh/día)	Factor T
< 100	0,85
100 – 500	0,75
500 – 1.000	0,70
1.000 – 2.000	0,65
> 2.000	0,60

(1) Volumen estimado para el año de puesta en servicio del tratamiento o sello.  
(2) En el caso de tratamientos para bermas, considerar T = 0,85

- c) Absorción del Agregado (A). Este factor compensa la disminución en la dosis de ligante que provoca la absorción del agregado. Por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia para la mayoría de los agregados. Para agregados absorbentes, el valor de A puede llegar a 0,15 l/m<sup>2</sup>. Para agregados altamente absorbentes, como piedras volcánicas u otros, se recomienda utilizar algún procedimiento de pretratamiento, como la precobertura con asfalto, en vez de aplicar factores de corrección.
- d) Textura Superficial (S). Este parámetro toma en cuenta la cantidad de ligante asfáltico que es absorbida por la superficie de la base o pavimento asfáltico. Normalmente, en tratamientos superficiales sobre bases imprimadas no se realiza esta corrección o su magnitud no supera los 0,2 l/m<sup>2</sup>. La definición de la textura superficial es subjetiva, y no existen ensayos que permitan medir la corrección necesaria.

**TABLA 8.302.50.C  
CORRECCION POR TEXTURA SUPERFICIAL**

Textura Superficial	Corrección S (l/m <sup>2</sup> )
pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial	hasta -0,3
pavimento asfáltico de textura cerrada	0,0
pavimento asfáltico de textura abierta:	
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
base granular imprimada	0,0 - 0,2

## 5.- Cálculos.

**5.1 Dosis de Agregado para Tratamiento Simple.** Calcule la dosis de agregado, en kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo a la ecuación (3).

$$C = M [(1 - 0,4V)H \times \rho_{RS} \times E] \quad (3)$$

donde:

- C : Dosis de agregado (kg/m<sup>2</sup>).  
M : Factor de corrección que debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es 1,0, sin embargo el Asphalt Institute propone modificarlo según experiencia local. Un valor de 0,9 ha dado buenos resultados en el país. No obstante lo anterior, se podrá utilizar factores de ajuste intermedios entre 0,9 y 1,0  
V : Vacíos en el agregado, ver ecuación (2) (decimal)  
H : Dimensión mínima promedio (mm), ver ecuación (1).  
ρ<sub>RS</sub> : Densidad real seca del agregado (kg/dm<sup>3</sup>), ver 4.2 e).  
E : Factor de desperdicio, ver 4.3 a).

**5.2 Dosis de Ligante para Tratamientos Simples.** Determine la dosis de ligante, en l/m<sup>2</sup>, de acuerdo a la ecuación (4).

$$B = K \left( \frac{0,40 \times H \times T \times V + S + A}{R} \right) \quad (4)$$

donde:

- B : Dosis de ligante ( l/m<sup>2</sup>).  
K : Factor de corrección que debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es 1,0, pero puede ser mayor o menor según el diseñador. En climas tropicales se ha aplicado 0,9, mientras en climas muy fríos se usa 1,2. Se podrá utilizar valores intermedios entre los extremos indicados, dependiendo del clima de la región donde se ejecute la obra.  
H : Dimensión mínima promedio, (mm), ecuación (1).  
T : Factor de tránsito , ver 4.3 b).  
V : Vacíos en el agregado, ver ecuación (2) (decimal)  
S : Factor de corrección por textura superficial (l/m<sup>2</sup>), ver 4.3 d).  
A : Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (l/m<sup>2</sup>), ver 4.3 c).  
R : Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (decimal), ver 4.1.

**5.3 Dosificación de Tratamientos Múltiples.** Para dosificar tratamientos dobles o triples se sigue el siguiente procedimiento:

- a) Dosis de agregados. Calcule la dosis para cada capa del tratamiento como si se tratara de un tratamiento simple. Normalmente, cada capa tiene un tamaño máximo nominal no superior a la mitad del tamaño máximo nominal de la capa inferior. Si es necesario se pueden corregir las dosis en terreno ajustando el valor del factor M.  
b) Dosis de ligante. Calcule la dosis para cada capa como si se tratara de un tratamiento simple. El factor de corrección por textura superficial se aplica sólo a la primera capa. Una vez determinadas las dosis de ligante para cada capa, se determina la dosis total del tratamiento sumando las dosis individuales. Finalmente, las dosis de cada capa o aplicación se distribuyen porcentualmente de la manera mostrada en la Tabla 8.302.50.D. Si es necesario se pueden corregir las dosis en terreno ajustando el valor del factor K.

**TABLA 8.302.50.D**  
**DISTRIBUCION DE LA DOSIS TOTAL DE LIGANTE, EN CAPAS INDIVIDUALES**

Capa	Tratamiento doble	Tratamiento triple
1a Capa	40 - 45	30
2a Capa	60 - 55	40
3a Capa	-	30

**6.- Informe.** El informe de dosificación debe contener lo siguiente:

- a)** Identificación de la obra.
- b)** Antecedentes del agregado: procedencia, fecha muestreo, resultados de ensayos de granulometría, índice de laja y densidades. Esta información debe ser entregada para cada capa, en el caso de tratamientos múltiples (cada capa tiene distinto agregado).
- c)** Antecedentes del ligante asfáltico: tipo de asfalto, proveedor, fecha de envío de la muestra, lote, resultados del ensayo de destilación o, en su defecto, copia del certificado entregado por el proveedor.
- d)** Cálculos preliminares: tamaño medio del agregado, dimensión mínima promedio, contenido de vacíos. Esta información se entrega para cada capa en el caso de tratamientos dobles o triples.
- e)** Parámetros del proyecto: debe quedar registro de los valores de todos los parámetros usados en la dosificación.
- f)** Dosis de ligante.
  - Dosis de ligante individual, de cada capa en el caso de tratamientos múltiples.
  - Dosis total de ligante, en caso de tratamientos múltiples.
  - Dosis definitiva de cada capa, para el caso de tratamientos múltiples.
- g)** Dosis de agregado, de cada capa en el caso de tratamientos dobles o triples.



## 8.302.51 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO CON EMULSION.

### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

1.1 Esta especificación describe el método de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión. El procedimiento está orientado a mezclas para caminos de bajo volumen de tránsito con agregados densamente graduados con tamaño máximo menor o igual a 25 mm (1 pulg).

1.2 Es aplicable a mezclas producidas tanto in situ como en laboratorio, a temperaturas ambiente.

1.3 El método comprende la realización de las siguientes etapas:

- a) Contenido inicial de emulsión
- b) Contenido de agua de premezcla
- c) Contenido óptimo de agua de compactación
- d) Contenido óptimo de asfalto residual

### 2.- Referencias.

- Asphalt Cold Mix Manual MS-14. Asphalt Institute.
- Asphalt Emulsion Manual MS-19. AEMA – Asphalt Institute.
- ASTM D 1560.
- Método 8.302.35
- Método Rupanco. Curso Laboratorista Vial, 4ª Ed., Vol II, LNV Chile.

### 3.- Aparatos y Materiales

3.1 Los aparatos y materiales necesarios para este ensaye son los mismos utilizados en el método de diseño Marshall según Método 8.302.47.

### 4.- Determinación del Contenido Inicial de Emulsión.

4.1 El contenido inicial de emulsión se estima a partir de uno de los siguientes procedimientos:

- a) **E.C.K:** Se determina el contenido inicial de emulsión a partir de la determinación del contenido de asfalto aproximado mediante el Equivalente Centrífugo de Kerosene (8.302.35).

El contenido inicial de emulsión se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(T \times PAB \times 60)}{R}$$

donde:

- %E : Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del agregado seco.
- T : Valor según tipo de Capa Estabilizada  
T = 1,1 Base estabilizada con emulsión asfáltica  
T = 1,5 Capa de Rodadura estabilizada con emulsión
- PAB : Porcentaje aproximado de asfalto u óptimo teórico Hveem
- R : Residuo Emulsión Asfáltica (Número Entero)

- b) **Fórmula Empírica:** En caso de no contarse con el equipamiento necesario para realizar el E.C.K, el contenido inicial de emulsión se puede estimar a partir de la siguiente fórmula.

$$\%E = [(0,05 \times A) + (0,1 \times B) + (0,5 \times C)] \times 0,7$$

donde:

- %E : Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del agregado seco.
- A : Porcentaje del agregado retenido en malla N° 8 (2,5 mm)
- B : Porcentaje del agregado pasante por malla N° 8 (2,5 mm) y retenido en malla N° 200 (80 µm)
- C : Porcentaje de agregado pasante por malla N° 200 (80 µm)

## 5.- Test de Cubrimiento y Adhesión.

**5.1 Antecedentes:** La evaluación preliminar para la selección de una emulsión asfáltica para el diseño de mezcla debe ser acompañada por una evaluación del cubrimiento del agregado. El contenido inicial de emulsión se mezcla con el agregado a utilizar y se estima visualmente, como un porcentaje del área total, el cubrimiento del agregado por parte de la emulsión. La habilidad de la emulsión para cubrir el agregado es muy sensible al contenido del agua de premezcla del agregado, por lo cual el test de cubrimiento se debe realizar con distintos porcentajes de agua de premezcla.

### 5.2 Procedimiento (Contenido de agua de premezcla).

- a) Separar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a utilizar.
- b) Tamizar y separar los agregados secos al aire en las siguientes fracciones: 25-20 mm; 20-12,5 mm; 12,5-10 mm; 10-5 mm y bajo 5 mm.
- c) Preparar un número suficiente de muestras de agregados combinados secos al aire para mezclas de prueba. La masa de cada muestra debe ser de 1200 gr de material seco en horno. Estas muestras se deben confeccionar remezclando las fracciones antes definidas de modo de igualar el análisis granulométrico.
- d) Determinar la humedad de una muestra combinada de agregados secos al aire y registrar.
- e) Colocar una muestra de material en un recipiente, incorporar un porcentaje de agua predeterminado de premezcla y mezclar. La cantidad de agua incorporada será tal que cumpla las siguientes consideraciones:
  - Emulsión asfáltica de curado medio: Prueba inicial deberá ser mezclada sin la adición de agua de premezcla, es decir, se debe realizar con el agregado en condición seco al aire.
  - Emulsión asfáltica de curado lento: Comenzar el test con un contenido de agua de premezcla de 3 % (Nota 1).
- f) Combinar el contenido inicial de emulsión determinado en el punto 3 con el agregado húmedo. Mezclar utilizando la mano hasta que el asfalto esté adecuadamente distribuido en toda la mezcla.
- g) Calcular el contenido de agua libre de la mezcla (Punto 4.2c + 4.2e)
- h) Preparar otras probetas de acuerdo a los pasos d, e y f con incrementos de 1% en el agua de premezcla hasta que la mezcla se vea empapada o comience a segregar. Cuando esto ocurra continúe con la siguiente etapa.
- i) El cubrimiento del agregado es evaluado de forma visual. Para cada contenido de agua de premezcla, estimar el porcentaje del área total de agregados cubiertos con asfalto y registrar.
- j) Si el cubrimiento del agregado es superior al 50% entonces el test es encontrado satisfactorio, por lo tanto se debe seleccionar aquel contenido de agua de premezcla que satisfaga con la condición definida. En caso de que el cubrimiento del agregado no sea considerado satisfactorio, la emulsión debe ser modificada o se debe seleccionar otro grado de emulsión, realizándose otro ensaye (Notas 2 y 3).

**Nota 1:** Para los agregados que contienen arcilla, la adición del agua de premezcla debe realizarse con 24 hrs de anticipación y debe ser colocado en un recipiente sellado posterior a la mezcla.

**Nota 2:** Para emulsiones asfálticas de curado medio utilice suficiente agua de premezcla para permitir un adecuado esparcimiento de la emulsión sobre la mezcla. En algunos casos una excesiva cantidad de agua de premezcla podría producir desprendimiento del asfalto de los agregados. Cuando esto ocurra, utilice la cantidad de agua de premezcla que permita a lo menos un 50% de cubrimiento de los agregados; las subsecuentes mezclas deberán ser producidas con la cantidad de agua de premezcla que produzca el máximo de cubrimiento sin producir desprendimiento del asfalto de los agregados.

**Nota 3:** Las emulsiones asfálticas de curado lento presentan un aumento del porcentaje de cubrimiento a medida que se aumenta el agua de premezcla, sin embargo desde cierto punto un aumento del porcentaje de agua de premezcla no producirá un aumento del cubrimiento del agregado. Este punto será el mínimo contenido de agua de premezcla; las subsecuentes mezclas en el diseño deberán ser producidas con este mínimo contenido de agua de premezcla.

### 5.3 Test de Adhesión – Procedimiento.

- Pesar una muestra de 100 gr. de la mezcla confeccionada, sin que haya sido sumergida en agua, colocarla en un recipiente de poca profundidad y someterla a un período de curado de 24 hrs en un horno de tiro forzado a 60 °C.
- Colocar la mezcla curada en un vaso de 600 ml, el cual debe contener 400 ml de agua destilada hirviendo.
- Manteniendo el agua hirviendo, revolver durante tres minutos a una vuelta por segundo.
- Sacar el agua del vaso y colocar la mezcla sobre una pieza de papel absorbente.
- Después de que la mezcla haya secado, evalúe visualmente el porcentaje de asfalto retenido sobre los agregados. Si es satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla. En caso contrario, la emulsión debe ser modificada o se debe seleccionar otro grado de emulsión.

### 6.- Contenido Optimo de Agua de Compactación.

**6.1 Antecedentes:** Las propiedades de la mezcla están íntimamente relacionadas a la densidad obtenida luego de la compactación. De esta forma es necesario optimizar el contenido de agua de compactación para maximizar la densidad de la mezcla. El procedimiento de diseño de mezcla utiliza el procedimiento Marshall modificado para evaluar las propiedades de la mezcla compactada, en este caso específico evaluando la densidad seca de la muestra.

**6.2 Preparación de Probetas:** El procedimiento se realiza de acuerdo a los siguiente puntos:

- Cantidad de Muestras: Se deben preparar como mínimo tres probetas con el equipo Marshall para cada uno de los tres contenidos de agua de compactación a utilizar (Nota 4).
- Preparación del molde y el martillo.
- Preparación del agregado: Remezclar las fracciones antes definidas de cada material para producir una masa de 1.200 gr en cada probeta (secos en horno). En un área ventilada, colocar la muestra en un recipiente y determinar la temperatura del agregado. La temperatura debe ser ajustada a  $22,2 \pm 1,7$  °C previo a la mezcla.
- Cálculos: Se requiere realizar los siguientes cálculos: masa del agregado, masa de la emulsión asfáltica, masa del agua de premezcla y masa de la pérdida de agua para compactación. Los cálculos se realizan según las siguientes fórmulas:

$$\text{Masa del agregado (W):} \quad W = \frac{a}{100 - b} \times 100$$

$$\text{Masa de Emulsión Asfáltica (X):} \quad X = \frac{a \times c}{d}$$

$$\text{Masa de agua libre adicional para premezcla (Y):} \quad Y = a \times \left( f - b - \left( \frac{e \times c}{d} \right) \right) \div 100$$

$$\text{Masa de pérdida de agua para compactación (Z):} \quad Z = a \times \left( \frac{f - g}{100} \right)$$

donde:

- a : Masa del agregado seco
- b : Porcentaje de agua contenida en el agregado seco al aire
- c : Contenido de asfalto residual deseado (Porcentaje del peso del agregado seco)
- d : Porcentaje residual de asfalto en la emulsión
- e : Porcentaje de agua en la emulsión = 100 - d

- f : Porcentaje del contenido de agua de premezcla en la mezcla (masa del agregado seco)  
g : Porcentaje del contenido de compactación (masa del agregado seco)

- e) Adición del agua de premezcla: Colocar el agregado seco al aire en un bol para mezclar. Calcular el monto de agua libre a ser agregada (Y) necesaria para lograr el contenido óptimo de agua de premezcla según lo determinado en el test de cubrimiento (punto 4). La temperatura del agua debe ser ajustada a  $22,2 \pm 1,7$  °C previo a la mezcla. Agregar el agua a los agregados secos al aire y mezclar durante 1 minuto o hasta que el agua esté completamente dispersa en el agregado (Nota 5). Determinar la masa de emulsión asfáltica y registrar. Agregar la emulsión asfáltica en los agregados húmedos lentamente a medida que el material es mezclado. Un tiempo de mezcla de 1 minuto, utilizando mezcladora mecánica, debiera ser suficiente. Un tiempo de mezcla excesivo producirá el desprendimiento del asfalto de los agregados.
- f) Si el contenido de agua de premezcla es mayor al contenido de agua para la compactación, entonces es necesario airear la mezcla para lograr el contenido de agua deseado de compactación. En este caso se debe distribuir la mezcla en un plato de tal forma de que su espesor no supere los 25 mm y registrar la masa del plato y la mezcla. La pérdida de agua requerida para la compactación se calcula utilizando la fórmula definida en 6.2(d). Para reducir el contenido de agua es necesario utilizar un ventilador revolviendo cada 10 minutos la mezcla. El contenido de agua a eliminar se logra pesando sucesivamente la masa del plato y la mezcla hasta alcanzar el contenido de agua de compactación deseada. Registrar.

**Nota 4:** Generalmente 3 incrementos del contenido de agua de compactación en 1% es suficiente para construir la curva densidad/contenido de agua para determinar el óptimo.

**Nota 5:** Materiales que contienen arcilla deben ser colocados en un recipiente sellado por un mínimo de 15 horas.

- g) Compactación de las muestras: Limpie completamente el molde y la cara de compactación del martillo. Coloque un papel circular en la base del molde antes de introducir la mezcla. Ensamble el molde, coloque toda la mezcla en él y dé con una espátula un acomodamiento de 15 veces a lo largo del perímetro y 10 veces en el interior del molde. Con la espátula, suavice la superficie de la mezcla con suaves movimientos circulares.
- h) Coloque el molde en el pedestal de compactación y aplique 50 golpes con el martillo de compactación usando una caída libre de 45,72 cm (18 pulg). Remueva el plato de base y el collar, invierta la probeta y vuelva a ensamblar el molde. Aplique 50 golpes más en la otra cara del molde. Remueva el plato de base, el collar y el disco de papel.
- i) Curado. Cure la probeta con los moldes, durante 24 horas a temperatura ambiente, manteniendo una circulación de aire homogénea por ambos lados de la probeta.
- j) Saque la probeta del molde y calcule la densidad real de las probetas según Método 8.302.38.
- k) Resultados. Construya un gráfico densidad real versus contenido de fluidos. El contenido de fluidos que maximice la densidad de la probeta se selecciona como el contenido óptimo de compactación.
- l) Si es necesario poseer más datos para el gráfico, realice más ensayos, utilizando contenidos adicionales de agua de compactación.
- m) El contenido óptimo de compactación deber ser utilizado en todos los ensayos a realizar respecto del contenido óptimo de asfalto residual.

## 7.- Variación del Contenido de Asfalto Residual.

**7.1 Antecedentes:** Para determinar el contenido óptimo de asfalto residual para una combinación de agregado y emulsión asfáltica definida, es necesario realizar una serie de ensayos con contenidos distintos de asfalto residual, utilizando los contenidos de agua de premezcla y de compactación óptimos definidos anteriormente. Las mezclas son preparadas con incrementos porcentuales unitarios de contenido asfáltico residual, con dos contenidos a cada lado del contenido inicial calculado en el punto 3, logrando como mínimo 5 puntos.

**7.2 Preparación de Probetas:** El procedimiento se realiza de acuerdo a los mismos puntos especificados en el punto 5. A continuación se definen algunos aspectos específicos a tomar en cuenta en esta etapa.

- a) Número de muestras: Preparar 6 muestras para cada contenido de asfalto residual.
- b) Preparación del molde y el martillo: Igual
- c) Preparación de los agregados: Sin cambios
- d) Cálculos: Sin cambios
- e) Adición del agua de mezcla: Notar que el mismo contenido de agua óptimo de compactación es utilizado para todos los contenidos de asfalto. Debido a que el contenido de asfalto residual aumenta, el contenido total de fluidos en la mezcla aumenta, debido a que la emulsión aumenta. De esta forma, el contenido del agua de premezcla a incorporar disminuirá a medida que aumenta el contenido de asfalto residual.
- f) Aireación de las muestras para disminuir el contenido de agua total. Sin cambios.
- g) Compactación de las probetas: Sin Cambios.
- h) Curado de las probetas: Curar en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente, sacar y curar por 24 horas en un horno a 38° C.

## 8.- Procedimiento de Evaluación de Probetas

**8.1 Antecedentes:** Para completar el procedimiento de diseño, es necesario realizar una serie de ensayos a las probetas compactadas y curadas. Los ensayos son los siguientes:

- a) Densidad Real.
- b) Estabilidad Marshall Modificada y Fluencia de probetas secas a una temperatura de  $22,2 \pm 1,1^{\circ} \text{C}$
- c) Estabilidad Saturada y Fluencia.
- d) Análisis de Huecos y Densidad.
- e) Absorción de Humedad

**8.2 Densidad Real:** Realizar a temperatura ambiente y según Método 8.302.38.

**8.3 Estabilidad Modificada y Fluencia:** Luego de determinar la densidad de las 6 probetas, para un contenido de asfalto específico, evalúe la estabilidad y la fluencia a tres de ellos según Método 8.302.40. Utilice aquellos que poseen una densidad similar. Se deben considerar los siguientes factores:

- a) La temperatura de la probeta debe mantenerse utilizando un baño de agua.
- b) Durante el ensaye, la tasa de deformación debe ser de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que la probeta falle.
- c) Registrar la fluencia en unidades de 0,25 mm. (0,01 pulg)
- d) Determinar el contenido de humedad de las probetas posterior al ensaye de fluencia

**8.4 Estabilidad Saturada y Fluencia:** Las tres probetas restantes se someterán al ensaye de estabilidad y fluencia luego de ser sometidas a un proceso de desecación al vacío y saturación en agua.

- a) Cada probeta se coloca en una desecadora al vacío con 100 mm de Mercurio durante un período de una hora.
- b) Luego se coloca la probeta en agua para su saturación durante 1 hora.
- c) Realizar el ensaye de estabilidad modificada y fluencia de acuerdo con el punto 7.3.

**8.5 Análisis de Huecos y Densidad:** Realizar de acuerdo a los siguientes puntos:

- a) Determine la densidad real seca promedio de todas las probetas con un mismo contenido de asfalto. Elimine los valores que posean más de un 50% de error con respecto al valor promedio.
- b) Determine el contenido de huecos de acuerdo al procedimiento Marshall, Método 8.302.47

## 9.- Interpretación de los Resultados.

**9.1 Antecedentes:** La estabilidad, fluencia, huecos, densidad real seca y contenido de humedad se analizan como sigue:

- a) Corrija los valores de estabilidad según procedimiento Marshall, cuando sea necesario
- b) Calcule el valor promedio de fluencia y estabilidad corregida para un mismo contenido de asfalto según procedimiento Marshall
- c) Prepare los siguientes gráficos:
  - Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Asfalto Residual
  - Porcentaje de pérdida de estabilidad v/s Contenido de Asfalto Residual

$$\text{Porcentaje de Pérdida de Estabilidad} = \left( \frac{\text{Estabilidad Seca} - \text{Estabilidad Saturada}}{\text{Estabilidad Seca}} \right) \times 100$$

- Densidad Real Seca v/s Contenido de Asfalto Residual
  - Porcentaje de Humedad absorbida v/s Contenido de Asfalto Residual
  - Porcentaje total de huecos v/s Contenido de Asfalto Residual
- d) En cada gráfico, conectar los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

**9.2 Contenido Óptimo de Asfalto:** Se define como contenido óptimo de asfalto residual aquel que provee la máxima estabilidad saturada, pero que se ajusta adecuadamente a la absorción de humedad, la pérdida de estabilidad, el total de huecos y al porcentaje de cubrimiento de los agregados. Si no se logra determinar un óptimo en las propiedades evaluadas, el valor óptimo debe ser definido según la mejor combinación de la estabilidad Marshall (seca y saturada), la pérdida de estabilidad y la densidad real seca, tomando especial atención en los efectos del agua en las propiedades de las probetas.

**9.3 Criterios de Diseño:** La mezcla con el contenido de asfalto residual seleccionado debe cumplir con la totalidad de los criterios de diseño que se presentan en Tabla 8.302.51.A.

**TABLA 8.302.51.A**  
**CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFALTICAS**  
**EN FRIO CON EMULSION**

Ensaye	Mínimo	Máximo
Estabilidad	2224 N (500 lbs)	--
Pérdida de Estabilidad	--	50 %
Cubrimiento del agregado	50 %	--

**9.4 Tendencias de los Gráficos Resultantes:** Las curvas típicas obtenidas deben tener las siguientes tendencias:

- a) Estabilidad saturada generalmente mostrará un peak para un contenido particular de asfalto residual mientras que la estabilidad seca generalmente mostrará un decrecimiento continuo a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- b) El porcentaje de pérdida de estabilidad generalmente decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- c) La densidad real seca usualmente presenta un peak para un contenido particular de asfalto residual.
- d) El porcentaje de humedad absorbida durante la saturación de la probeta decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- e) El porcentaje total de huecos decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.

## **10.- Informe**

### **10.1** El informe debe incluir los siguientes puntos:

- a)** Agregados: Se debe indicar la granulometría, densidad aparente seca, densidad real seca, desgaste Los Angeles, Índice de Plasticidad y Equivalente de Arena. Dosificación de agregados.
- b)** Emulsión Asfáltica: Tipo de emulsión, proveedor, lote y certificado de laboratorio.
- c)** Mezcla: Resultados de ensaye de cubrimiento y adhesión.
- d)** Resultados de Estabilidad: Promedio de las estabilidades de cada probeta para cada contenido de emulsión.
- e)** Dosis óptima de ligante: Obtenida a partir del análisis de estabilidad Marshall, porcentaje de pérdida de estabilidad y porcentaje de cubrimiento.
- f)** Densidad real para el contenido óptimo de emulsión.
- g)** Informar las propiedades volumétricas obtenidas: Vacíos, vacíos llenos de asfalto y VAM.



## 8.302.52 ASFALTOS: MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN FRÍO

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este Método define un procedimiento para el diseño de lechadas asfálticas y microaglomerados en frío, describiendo una metodología para determinar el contenido óptimo de ligante.

### 2.- Referencias

- Método 8.302.5 Asfaltos: Método de Ensaye para Emulsiones
- Método 8.202.3 Agregados Pétreos: Método para Tamizar y Determinar la Granulometría
- Método 8.202.9 Agregados Pétreos: Método para Determinar el Equivalente de Arena
- Método 8.202.20 Agregados Pétreos: Método para Determinar la Densidad Real, la Densidad Neta y la Absorción de Agua en Pétreos Gruesos
- Método 8.202.21 Agregados Pétreos: Método para Determinar la Densidad Real, la Densidad Neta y la Absorción de Agua en Pétreos Finos
- Método 8.202.4 Agregados Pétreos: Método para Determinar el Material Fino Menor que 0,08 mm
- Método 8.302.45 Asfaltos: Método para Determinar la Consistencia de Lechadas Asfálticas
- Método 8.302.46 Asfaltos: Método de Abrasión en Medio Húmedo para Lechadas Asfálticas
- Método 8.302.53 Asfaltos: Método para Determinar el Porcentaje Máximo de Ligante en Lechadas Utilizando la Rueda de Carga
- ISSA N °111 Technical Bulletin "Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal"
- EN 933-9 Ensaye para Determinar las Características Superficiales de Finos y Filler Mediante Adsorción de Azul de Metileno

### 3.- Determinaciones Previas

3.1 Determine la densidad neta del agregado, de acuerdo con el Método 8.202.20 y/o 8.202.21, según corresponda.

3.2 Determine la granulometría del agregado, de acuerdo con el Método 8.202.3.

3.3 Determine la superficie específica, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie específica} = \frac{0.17*a + 0.33*b + 2.3*c + 12*d + 135*e}{100} \text{ [m}^2\text{/kg]}$$

donde los coeficientes indicados como a, b, c, d y e son calculados sobre la base de la granulometría de la mezcla de áridos:

- a** = % de árido mayor que 10 mm
- b** = % que pasa por tamiz 10 mm y queda retenido en tamiz 5 mm
- c** = % que pasa por tamiz 5 mm y queda retenido en tamiz 0,315 mm
- d** = % que pasa por tamiz 0,315 mm y queda retenido en tamiz 0,08 mm
- e** = % que pasa por tamiz 0,08 mm

3.4 Determine el residuo asfáltico de la emulsión, de acuerdo con el Método 8.302.5 ó el Método indicado al pie de la Tabla 5.419.201.A, según corresponda.

### 4.- Procedimiento

4.1 Determine el contenido de emulsión teórico usando la siguiente ecuación:

$$Et = \left( \frac{4,5 * \sqrt{\text{SuperficieEspecifica}}}{R} \right) - 1 \quad \%$$

donde:

- Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%)  
Sup. Esp. : Superficie específica del agregado seco, según el punto 3.3 (m<sup>2</sup>/kg)  
R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal)

**4.2** Determine el agua de premezclado como sigue:

Teniendo el árido seco pesado en un recipiente estanco, agregue cuando corresponda, el aditivo seco, como el filler, cal u otro; luego, agregue el agua de acuerdo con la Nota 3 y la cantidad de emulsión determinada en 4.1. Revuelva uniformemente. Si usa aditivo líquido, éste se agrega después del agua.

**4.3** Determine el tiempo de mezclado para medir la trabajabilidad, de acuerdo con el procedimiento ISSA TB 113, utilizando inicialmente, el contenido de emulsión teórica.

**4.4** Determine la consistencia de la lechada según Método 8.302.45, usando el contenido de emulsión determinado en el Punto 4.1 y verificado en 4.3, variando la cantidad de agua necesaria para obtener un desplazamiento de la mezcla, idealmente en el rango de 2 cm a 3 cm. La cantidad de agua incorporada corresponde al agua de premezclado expresada en porcentaje (%), referida al agregado seco. Registre este valor como W1, aproximando a un decimal.

**4.5** Determine el desgaste por abrasión bajo agua a la mezcla obtenida según el Punto 4.2, de acuerdo con el Método 8.302.46. En caso de microaglomerados, la determinación se realizará a una temperatura de 25°C y luego repetirla: dependiendo de si es Zona Norte, realizarla a 30°C, y si es Zona Sur, a 15°C.

**4.6** Determine la cantidad de arena adherida a la mezcla obtenida según el Punto 4.2, de acuerdo con el Método 8.302.53.

**4.7** Calcule el porcentaje de agua total en la mezcla, según la siguiente expresión:

$$W = W1 + Et * (1 - R)$$

donde:

- W : Porcentaje de agua total en la mezcla (%)  
W1 : Porcentaje de agua de premezclado, referido al agregado seco (%)  
Et : Contenido de emulsión teórico, referido al agregado seco (%)  
R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal)

Nota 1:

Para lechadas asfálticas, el agua de mezclado W1 se determina con el método 8.302.45, Cono de Consistencia para Lechadas Asfálticas.

Para microaglomerados, el agua de mezclado W1 se determina de una manera visual, basándose en la experiencia previa adquirida observando la trabajabilidad y el aspecto que presenta la mezcla de los áridos con el cemento, el aditivo y el agua que se va añadiendo. Se debe considerar la condición de humedad natural del árido: en la zona Norte, los áridos están demasiado secos y por lo tanto ávidos de agua; en cambio, en el Sur, los áridos ya presentan cierta humedad.

Nota 2:

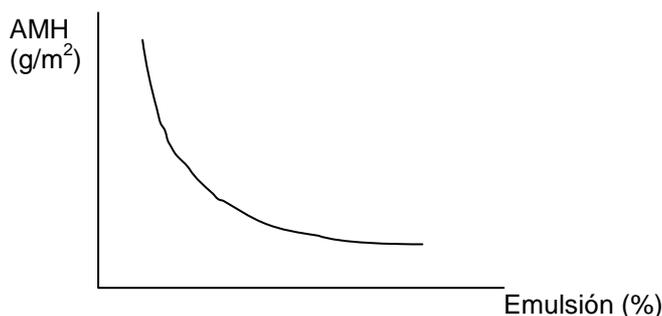
Es importante que la determinación del agua se realice tras la adición de cemento o filler y aditivo, ya que no debe obviarse la influencia que éstos tienen en la fluidez de la mezcla, de manera que a medida que se añade aditivo, se disminuye el agua de mezclado, y a medida que se añade cemento, se incrementa el agua de mezclado.

Nota 3:

Se recomienda partir probando con un valor correspondiente a 2% menos que el valor de la emulsión tentativa teórica (ej: si el % de emulsión teórica es 11%, el % de agua sería 9%).

- 4.8 Manteniendo constante el porcentaje de agua total calculado según el Punto 4.7, varíe (aumente o disminuya) el contenido (%) de emulsión respecto del teórico obtenido en el Punto 4.1 (se recomienda inicialmente aumentar y disminuir 1 punto porcentual), determinando el desgaste por Abrasión Medio Húmedo (AMH) para cada uno de ellos según el Método 8.302.46. Con la información reunida, construya, con un mínimo de 5 puntos, un gráfico de AMH [ $\text{g/m}^2$ ] en función del % de emulsión, para un contenido de agua total constante. Los % de emulsión utilizados deberán cubrir el rango de exigencia de AMH, que permita obtener una curva como la mostrada en la Figura 8.302.52.A, la que debe cubrir adecuadamente la zona o rango de trabajo requerido.

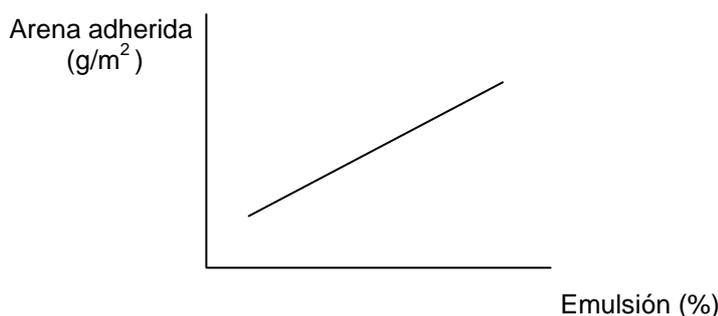
**Figura 8.302.52.A**  
**AMH en Función del Porcentaje de Emulsión para un Contenido de Agua Total Constante**



Si la curva obtenida anteriormente no corta el valor límite especificado, extrápólela para el valor máximo de desgaste especificado ( $540 \text{ g/m}^2$ ), excepto cuando se usen emulsiones poliméricas, caso en que el límite será de  $400 \text{ g/m}^2$ , obteniendo el contenido de ligante asociado a este valor. Registre como contenido mínimo de emulsión ( $E_{\min}$ ), aproximando a un decimal.

- 4.9 Manteniendo constante el porcentaje de agua total calculado en 4.7, usando los mismos % de emulsión utilizados en 4.8, determine la cantidad de arena adherida a la probeta para cada uno de ellos según Método 8.302.53. Con la información reunida, construya un gráfico, como el mostrado en la Figura 8.302.52.B, de arena adherida [ $\text{g/m}^2$ ] en función del % de emulsión, para un porcentaje de agua total constante. Los % de emulsión utilizados deberán cumplir con el rango de exigencia de arena adherida.

**Figura 8.302.52.B**  
**Arena Adherida en Función del Porcentaje de Emulsión para un Contenido de Agua Total Constante**



De acuerdo con el tránsito especificado, expresado como TMDA, seleccione la cantidad máxima permisible de arena adherida (i) en el caso de lechada, de la Tabla 5.406.301.A, y (ii) en el caso de micloaglomerados, de la Tabla 5.419.301.A. Con el valor correspondiente, interpole la curva para obtener el contenido de ligante asociado. Registre el contenido máximo de emulsión ( $E_{\max}$ ), aproximando a un decimal.

Nota 4:

Para microaglomerados, cuando no se conozca el TMDA, se debe considerar la cantidad máxima permisible de arena adherida de  $540 \text{ g/m}^2$

## 5.- Cálculos

- 5.1 Determine el contenido óptimo de emulsión de acuerdo con la siguiente expresión, aproximando a un decimal.

$$E_{\text{óptimo}} = \frac{E_{\text{mín}} + E_{\text{máx}}}{2}$$

donde:

- $E_{\text{opt}}$  : Contenido óptimo de emulsión (%)  
 $E_{\text{mín}}$  : Contenido mínimo de emulsión (%)  
 $E_{\text{máx}}$  : Contenido máximo de emulsión (%)

Nota 5:

Alternativamente, se podrá determinar el contenido óptimo de emulsión como el valor para el cual las curvas de AMH y de adhesión de arena se intersectan. Si ninguno de los dos métodos anteriores señalados fueren aplicables por las formas de las curvas, el diseñador podrá presentar una metodología detallada según su experiencia, siempre que en todos los casos la mezcla confeccionada cumpla con las especificaciones requeridas. En caso de microaglomerados, se deberá cumplir con la Tabla 5.419.301.B.

- 5.2 Para el valor de  $E_{\text{opt}}$  obtenido en 5.1, determine el contenido óptimo de agua de premezclado (%), utilizando la expresión siguiente:

$$W_{\text{opt}} = W - E_{\text{opt}} * (1 - R)$$

donde:

- $W_{\text{opt}}$  : Contenido óptimo de agua de premezclado referido al agregado seco (%)  
 $W$  : Contenido de agua total en la mezcla (%)  
 $E_{\text{opt}}$  : Contenido óptimo de emulsión referido al agregado seco (%)  
 $R$  : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal)

- 6.- **Informe.** El Informe debe incluir, además de la individualización de la obra, los siguientes antecedentes:

### 6.1 Identificación de los Materiales.

- Procedencia y lugar de muestreo de la emulsión
- Procedencia y lugar de muestreo del agregado
- Procedencia y lugar de muestreo del agua

### 6.2 Agregados

- Granulometría
- Material fino menor que 0,08 mm
- Densidad neta
- Desgaste Los Angeles
- Índice de trituración
- Equivalente de arena
- Azul de metileno

### 6.3 Mezcla de Agregados

- Dosificación de los agregados
- Superficie específica

#### **6.4 Asfalto**

- a) Tipo de emulsión
- b) Residuo asfáltico

#### **6.5 Mezcla Agregado - Asfalto**

- a) Adherencia Riedel-Weber
- b) Adherencia Método Estático

#### **6.6 Diseño.** Para cada contenido de ligante se debe informar:

- a) Agua de premezclado
- b) Consistencia (sólo para lechadas)
- c) Desgaste por abrasión bajo agua (indicar valor especificado)
- d) Cantidad de arena adherida (indicar valor especificado)
- e) Cohesión (sólo para microaglomerados)

#### **6.7 Gráficos**

- a) Curva de desgaste por abrasión bajo agua versus porcentaje de emulsión
- b) Curva de cantidad de arena adherida versus porcentaje de emulsión
- c) Contenidos mínimo y máximo de emulsión

#### **6.8 Valores Óptimos de Diseño**

- a) Contenido óptimo de emulsión (%), con una tolerancia de  $\pm 0,5$  puntos porcentuales
- b) Contenido óptimo de agua de premezclado (%), con una tolerancia de  $\pm 2,0$  puntos porcentuales.

### **8.302.53 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MAXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFALTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se utiliza para establecer el límite máximo del contenido de ligante en lechadas asfálticas mediante el procedimiento de la rueda de carga.

#### **2.- Referencias.**

- Método 8.202.2 Agregados pétreos: método para el cuarteo de muestras.
- ISSA N° 109 Technical Bulletin "Test method for measurement of excess asphalt in bituminous mixtures by use of Load Wheel Tester and Sand Adhesion".
- ASTM C 778-97 Standard Specification for Standard Sand.

**3.- Resumen del Método.** Una probeta confeccionada con lechada asfáltica, previamente acondicionada, se somete al paso repetido de una rueda de goma cargada. Luego se cubre con arena caliente para, posteriormente, someterla a nuevos ciclos de carga. La cantidad de arena adherida es un indicador del exceso de ligante que tiene la probeta.

#### **4.- Equipo y Materiales.**

**4.1 Balanzas.** De capacidad mínima de 2.000 g y resolución de 0,1 g.

**4.2 Horno.** Con convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

**4.3 Máquina para Ensaye de Rueda Cargada.** Capaz de recorrer una longitud de 12" en forma recíproca, a una frecuencia de 44 ciclos/min. Debe estar constituida por los siguientes elementos (Lámina 8.302.53.A):

- a) Marco de metal.
- b) Base para sujetar probetas.
- c) Motor.
- d) Reductor.
- e) Biela.
- f) Armazón metálica para sostener carga.
- g) Caja metálica porta pesos.
- h) Rueda de goma lisa, de dureza 60-70, diámetro 76,2 mm y ancho 25,4 mm.
- i) Contador de ciclos.
- j) Esferas de plomo contenidas en bolsas de  $11.340 \pm 1$  g cada una.
- k) Placas galvanizadas de 0,6 x 76 x 406 mm.
- l) Moldes para probeta con las siguientes medidas:  
Espesores : 3,2 - 4,8 - 6,4 - 8,0 - 9,5 - 12,7 mm.  
Longitud externa : 406 mm, ancho externo = 76 mm.  
Longitud interna : 381 mm, ancho interno = 51 mm.
- m) Varilla de madera para enrasar, de 152 mm de longitud y 25,4 mm de diámetro.
- n) Marco para arena, de las dimensiones indicadas en Lámina 8.302.53.A.
- o) Placa para arena.

**4.4 Termómetro.** Con rango de 0 - 100°C.

**4.5 Bol.** De capacidad mínima 1 l.

**4.6 Otros.** Espátula, vaselina sólida, papel mantequilla.

**4.7 Arena Silíceo Natural.** Calibrada de acuerdo a la granulometría indicada en Tabla 8.302.53.A.

**TABLA 8.302.53.A**  
**GRANULOMETRIA DE LA ARENA CALIBRADA**

Tamiz ASTM	NCh	% que Pasa
N ° 16	1,25	100
N ° 30	0,63	96 – 100
N ° 40	0,50	65 – 75
N ° 50	0,315	20 – 30
N ° 100	0,16	0 - 4

**5.- Acondicionamiento de la Muestra de Ensaye.**

**5.1** De acuerdo con el Método 8.202.2, reduzca por cuarteo la muestra de agregado proveniente de terreno, a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensaye.

**Nota 1.** La masa total de muestra requerida para el ensaye dependerá del número de determinaciones a realizar.

**5.2** Seque en horno la muestra obtenida en 5.1 a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante.

**5.3** Enfríe la muestra a temperatura ambiente.

**5.4** Obtenga por cuarteo, de acuerdo con el Método 8.202.2, muestras de agregado superiores en un 25% a 35% respecto de la cantidad requerida para llenar el molde seleccionado.

**Nota 2.** De ser necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los cuales deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

**5.5** Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

**6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1** Antes de confeccionar las mezclas, mantenga todos los materiales a  $25^{\circ}\text{C}$  durante al menos 60 min.

**6.2** Elija el molde para preparación de probetas, considerando que el espesor de éste debe ser aproximadamente 1,25 veces el Tamaño Máximo Nominal (mm) del agregado.

**6.3** Cubra con papel mantequilla las placas galvanizadas y esparza sobre ellas una capa delgada de vaselina sólida.

**6.4** Centre el molde elegido sobre la placa galvanizada.

**6.5** Tome una muestra de acuerdo a lo señalado en 5.4, e incorpórole una determinada cantidad de agua (porcentaje referido al agregado seco).

**6.6** Mezcle hasta obtener un color uniforme.

**6.7** Incorpore la cantidad necesaria de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min ni superior que 3 min.

**6.8** Vacíe la mezcla dentro del molde y enraste.

**6.9** Coloque la mezcla con molde y base en un horno a  $60^{\circ}\text{C}$  y seque hasta masa constante (mínimo 15 h).

**6.10** Desmolde la probeta y deje enfriar a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

**6.11** Coloque la probeta en el soporte de la rueda de carga y sujétela usando las golillas y los respectivos tornillos de sujeción.

**6.12** Limpie prolijamente la rueda del equipo, usando para este efecto agua o algún solvente volátil que no dañe la goma.

**6.13** Coloque la rueda sobre la probeta y ponga el peso especificado en 4.3j) sobre la caja superior.

**6.14** Lleve el contador de ciclos a cero y luego ponga el equipo en funcionamiento.

**6.15** Mantenga la probeta bajo observación. Si transcurrido un determinado tiempo se observara brillo en la superficie de la probeta, agregue la cantidad suficiente de agua para impedir la adherencia rueda-probeta. Registre el número de revoluciones al cual se inicia este fenómeno.

**6.16** Transcurridos 1.000 ciclos, detenga la máquina y descárguela. Saque la probeta de su soporte y lávela para eliminar partículas sueltas. Luego colóquela en un horno a 60 ° C hasta alcanzar masa constante. Registre este valor como Mi.

**6.17** Ponga nuevamente la probeta en el soporte de la rueda de carga y centre sobre éste el marco para arena.

**6.18** Caliente 200 g de arena a una temperatura de 82°C y espárzala uniformemente dentro del marco. Cubra la arena con la placa metálica, apoye inmediatamente la rueda cargada sobre la placa y complete 100 ciclos.

**6.19** Desarme el conjunto probeta - marco - placa metálica sobre un recipiente para desechos y golpee suavemente para remover la arena no adherida.

**6.20** Pese la probeta y registre su masa como Mf.

**7.- Cálculos.** Determine la cantidad de arena adherida a la probeta, de acuerdo a la expresión:

$$S_a = \frac{M_i - M_f}{A} \quad (g / m^2)$$

donde :

Sa : Cantidad de arena adherida a la probeta (g/m<sup>2</sup>).

Mi : Masa inicial de la probeta (g).

Mf : Masa final de la probeta (g).

A : Área de probeta para adherencia de arena (m<sup>2</sup>) (Ver Nota 3).

**Nota 3.** El área A se calcula a partir de las dimensiones indicadas en la Lámina 8.302.53.A. De acuerdo a esto, el valor del área por considerar en la expresión anterior es 0,01355 m<sup>2</sup>.

**8. Presentación de los Resultados.** El resultado del ensaye será el valor promedio de tres determinaciones, expresando éste en g/m<sup>2</sup> y aproximando a números enteros.

**9. Informe.** El Informe deberá contener al menos los siguientes antecedentes:

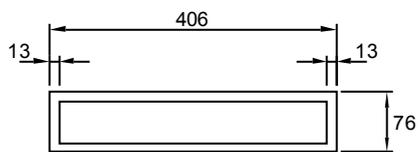
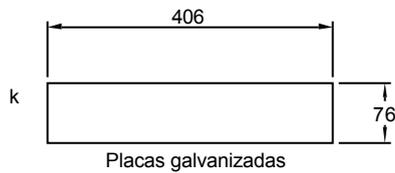
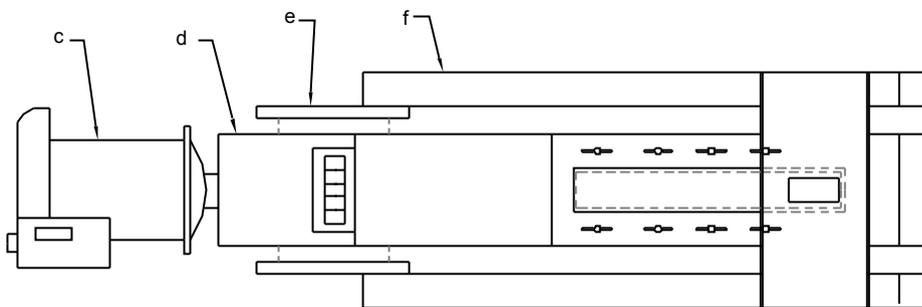
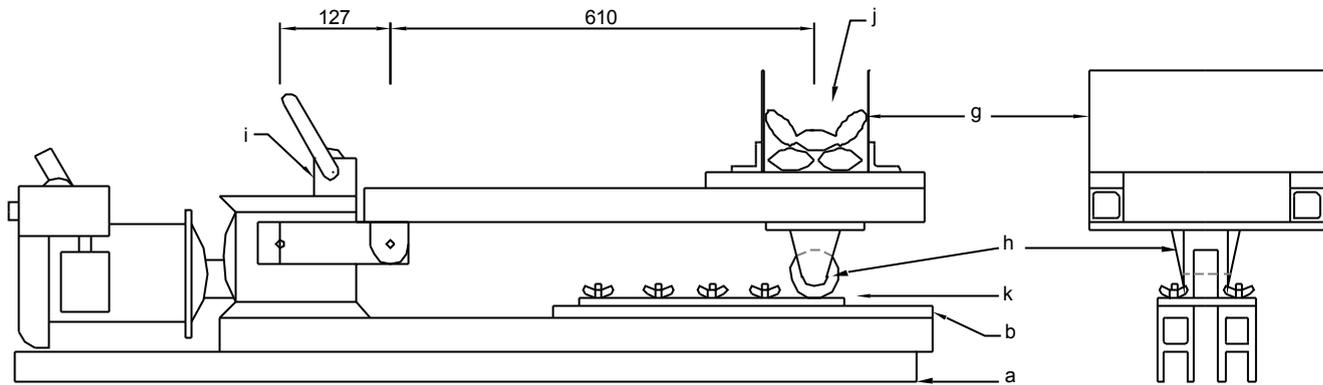
a) Tipo de emulsión empleada.

b) Contenido (porcentaje) de emulsión utilizado.

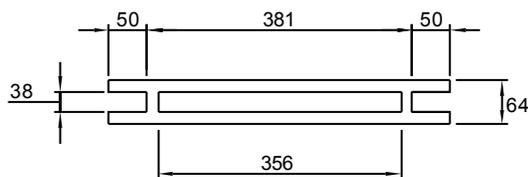
c) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al agregado seco.

d) Cantidad de arena adherida a la probeta (g/m<sup>2</sup>).

e) Referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensaye o a los materiales utilizados.



Moldes para probetas - se requieren 8  
Espesores 3, 5, 6, 8, 10, 13



Dimensiones en mm.

## **8.302.54 ASFALTOS: METODO PARA CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYE CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE. \***

### **1.- Objeto y Campo de Aplicación**

**1.1** Esta norma describe el procedimiento de ensaye que debe seguirse para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Desgaste de Los Angeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

**1.2** El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

**1.3** El ensaye permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

### **2.- Referencias**

- 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.

**Nota 1:** Este método también indica como calcular “Densidad y Huecos de las Mezclas Bituminosas Compactadas”

- 8.202.11 Agregados Pétreos: Método para determinar el desgaste mediante la máquina de Los Angeles.

#### **Correspondencia con otras normas.**

- “Estudio de la dosificación, características y comportamiento de las mezclas bituminosas porosas para capas de rodadura drenantes” Cátedra de Caminos y Aeropuertos. ETSICCP. Universidad de Santander. 1980.

**3.-** \*El Método 8.302.54 es una adaptación de la Norma NLT 352/86

### **4.- Aparatos y Material Necesario**

**4.1 Equipo de Compactación.** Formado por el molde, collar, placa de base y martillo de compactación empleados en el Método 8.302.40 para la fabricación de probetas Marshall.

**4.2 Máquina de Los Angeles.** La máquina para el ensaye de desgaste de Los Angeles tendrá las características indicadas en el Método 8.202.11.

**4.3 Termómetros.** Para medir la temperatura de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200°C y sensibilidad de 3°C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensaye, se utilizará un termómetro con escala de 0°C a 40°C y sensibilidad de 0,5°C.

**4.4 Balanzas.** Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.

**4.5 Cámara termostática.** Para mantener constante la temperatura durante el ensaye, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Angeles, y en la que la temperatura de ensaye pueda regularse con un error máximo de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**4.6 Material general.** Bandejas, bolo, espátulas, guantes de cuero, lápices marcadores, cogedores curvos, discos de papel, etc.

## 5. Procedimiento

### 5.1 Preparación de las Probetas

**5.1.1 Número de Probetas.** Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante.

**5.1.2 Preparación de los Áridos.** Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en horno hasta masa constante a una temperatura de 105°C a 110°C.

**5.1.3 Temperatura de Mezcla y Compactación.** Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas serán las adecuadas para hacer compatible un buen cubrimiento, sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en el punto 4.3 del Método 8.302.40, modificándolas si fuere preciso para cumplir los requisitos de cubrimiento y escurrimiento indicados antes.

**5.1.4 Preparación de Mezclas.** Se pesan sucesivamente en un bolo tarado las cantidades de cada fracción de los áridos necesarios para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad de áridos sea de 1000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en el Método 8.302.40 para la fabricación de las probetas Marshall.

**5.1.5 Compactación de las Mezclas.** La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en el Método 8.302.40.

**5.1.6 Densidad y Análisis de Huecos.** Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad y contenido de huecos, a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según el Método 8.302.40.

### 5.2 Ejecución del Ensaye

**5.2.1** En general, la temperatura de ensaye estará comprendida entre 15°C y 30°C, con una tolerancia de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**5.2.2** Se determina la masa de cada probeta, con aproximación de 0,1 g y se anota este valor  $p_1$ . Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensaye por un mínimo de seis horas.

**5.2.3** Se introduce a continuación una probeta en el interior de la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en el Método 8.202.11 de 3,1 a 3,5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.

**5.2.4** Al final del ensaye, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como  $p_2$ .

**5.2.5** El ensaye se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según lo descrito en 5.1.

## 6.- Resultados

**6.1** Se calcula el resultado del ensaye de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$p = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \times 100 (\%)$$

donde:

p = valor de la pérdida por desgaste, en %.

$P_1$  = masa inicial de la probeta, a 0,1 g.

$P_2$  = masa final de la probeta, a 0,1 g.

**6.2** Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según 5.2.

**6.3** En el resultado se incluirá la pérdida media por desgaste y la temperatura de ensaye.



## **8.302.55 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESION DE MEZCLAS ASFALTICAS DE GRANULOMETRIA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYE CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE \***

### **1. Objeto y Campo de Aplicación**

**1.1** Esta norma describe el procedimiento de ensaye que debe seguirse para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas de granulometría abierta, de utilización en la construcción de carreteras.

**1.2** El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en frío o en caliente, con ligantes asfálticos modificados o sin modificar, cuyo tamaño máximo de las partículas de árido sea menor a 25 mm.

**1.3** Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados del ensaye entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.

\*El Método 8.302.55 corresponde a una adaptación de la norma española NLT– 362/92, desarrollada en la Cátedra de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña (1991).

### **2. Referencias**

- 8.202.3 Agregados Pétreos: Método para Tamizar y Determinar la Granulometría
- 8.302.40 Asfaltos: Método para Determinar la Resistencia a la Deformación Plástica de Mezcla Bituminosas Empleando el Aparato Marshall. En este Método se desarrolla también “Densidad y Huecos en Mezclas Bituminosas Compactadas”.
- 8.202.11 Agregados Pétreos: Método para determinar el desgaste de los áridos por medio de la Máquina Los Angeles.
- 8.302.54 Asfaltos: Método para la caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del Ensaye Cántabro de pérdida por desgaste (NLT-352)

#### **Correspondencia con otras Normas**

Esta norma de ensaye se ha redactado teniendo como fundamento los trabajos e ideas desarrollados en la Cátedra de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña (1991).

### **3.- Aparatos y Material Necesario**

**3.1 Tamices** : 25mm, 12,5 mm, 10,0 mm, 5,0 mm, 2,5 mm, 0,63 mm, 315 mm, y 0,08 mm. Conforme con las características técnicas que para los mismos se especifican en la norma 8.202.3.

**3.2 Horno de Tiro Forzado**, que alcance y mantenga las temperaturas de 25°C, 45°C, 60°C, con precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y hasta 200°C con precisión de  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

**3.3 Balanza**. Hasta 2 kg de carga con 0,1 g de resolución.

**3.4 Martillo de Compactación**. El equipo de compactación tendrá los elementos, características y dimensiones que se refieren en la norma 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.

**3.5 Malla de Plástico**. Tipo mosquitera de unos 2 mm de luz de malla, para mantener las probetas fabricadas en frío.

**3.6 Baño Termostático.** De capacidad suficiente para dejar las probetas de ensaye y que mantenga la temperatura especificada constante dentro de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**3.7 Máquina de Los Angeles.** La máquina para ensaye de desgaste de las probetas tendrá las características y dimensiones que se indican para este mecanismo en el Método 8.202.11 "Método para Determinar el Desgaste mediante la Máquina de los Angeles".

**3.8 Cámara Termostática.** Recinto apto para alcanzar y mantener la temperatura especificada, con la precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , durante el ensaye y que pueda mantener en su interior la máquina de Los Angeles.

#### 4.- Fabricación de las Probetas

##### 4.1 Preparación de los Aridos

**4.1.1** Se procede a separar en fracciones, mediante tamizado, los áridos a emplear, en cantidad suficiente para fabricar una serie de un mínimo de ocho probetas, de  $1000 \pm 1$  g cada una, por cada contenido de ligante a ensayar.

**4.1.2** Las fracciones en que se separan los áridos son las siguientes:

25 mm/12,5 mm	2,5 mm/0,63 mm
12,5 mm/10 mm	0,63 mm /0,315 mm
10 mm/5 mm	0,315 $\mu\text{m}$ /0,08 mm
5 mm/2,5 mm	polvo mineral

**4.1.3** El tamizado en seco de las fracciones superiores a 2,5 mm (N°8) se considera suficiente y efectivo si después de terminado el proceso no se pierde por lavado más del 1 % de la cantidad retenida en cada tamiz. En caso contrario se procede al lavado de cada fracción en su tamiz correspondiente y a su posterior secado en estufa a la temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante.

**4.1.4** Las fracciones menores a 2,5 mm (N° 8) se lavan por los tamices correspondientes y posteriormente se secan en horno a la temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante.

**4.1.5** Con los áridos separados en fracciones se procede a dosificarlos ponderadamente, para componer la granulometría de la fórmula de trabajo.

**4.1.6** En un recipiente de masa conocida se pesan sucesivamente las cantidades de cada una de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido sea de  $1000 \pm 1$  g.

##### 4.2 Preparación de las Probetas

###### 4.2.1 Mezclas en Caliente

###### 4.2.1.1 Elaboración de la Mezcla

- Se coloca el recipiente con los áridos preparados según el punto 4.1 en un horno o placa de calefacción y se calienta el conjunto a una temperatura que sea, máximo  $25^\circ\text{C}$  superior a la especificada para la mezcla, según 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- La cantidad de ligante necesario para la fabricación de las probetas se coloca en un recipiente pequeño y se calienta en horno a la temperatura prescrita de mezclado. El ligante no debe estar más de 1 hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.
- A continuación se vierten los áridos en el recipiente para mezclado (bolo) y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade, por pesada, la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.
- Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se inicia el proceso de mezclado y se continúa hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta por el ligante.

#### 4.2.1.2 Compactación de las Probetas

- La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y procedimiento de compactación descritos en 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- El número de golpes a aplicar con el martillo es de 50 golpes por cara.
- La temperatura de la mezcla, inmediatamente antes de la compactación, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos, de acuerdo con 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- Una vez compactada la probeta, se espera un tiempo mínimo de 2 horas antes de extraerla del molde.

#### 4.2.2 Mezclas en frío

##### 4.2.2.1 Elaboración de la mezcla

- Se vierten los áridos, preparados según lo descrito en 4.1, en un recipiente para el mezclado, y se efectúa una mezcla ligera de los mismos.
- A continuación, y sólo cuando sea necesario su aporte, se añade por pesada la cantidad exacta de agua de premezclado y se efectúa el mezclado hasta su homogénea distribución.
- Se añade por pesada la cantidad exacta de emulsión y se continúa el mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta.

##### 4.2.2.2 Compactación de las Probetas

- La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y el procedimiento de compactación descritos en 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- La compactación se realiza a temperatura ambiente.
- El número de golpes a aplicar con el martillo es de 50 golpes por cara.
- Tras la compactación se desliza la probeta dentro del molde, empleando para ello una gata hidráulica, hasta enrasarla con su borde.
- A continuación se coloca el molde sobre una bandeja apoyándolo sobre la base enrasada.
- La bandeja deberá tener su fondo perforado y revestido de una fina malla tipo mosquitera que permita la libre circulación del aire.

##### 4.2.2.3 Curado de las Probetas

- Se introduce la bandeja con las probetas dentro del molde en un horno de secado a la temperatura de  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ , con ventilación forzada.
- Transcurridas 48 horas se saca la bandeja, se dejan enfriar las probetas durante un tiempo mínimo de 2 horas, y se procede a desmoldarlas siguiendo 8.302.40 Asfaltos: Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall..
- Cada una de las probetas se envuelve lateralmente con una tira sujetadora de plástico, tipo mosquitera de 2 mm de luz de malla, que se fija a la probeta con dos gomas elásticas.
- A continuación se coloca de nuevo las probetas sobre la bandeja, apoyadas sobre su base, y se introduce el conjunto en el horno para el curado de aquellas a  $45 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 120 horas.
- El tiempo empleado en desmoldar las probetas, ponerles la malla sujetadora e introducir las de nuevo en el horno no debe ser superior a 4 horas.

### 5.- Densidad y Análisis de Huecos

**5.1** La densidad de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente las probetas fabricadas en caliente, o cuando se haya terminado el proceso de curado de las probetas fabricadas en frío.

**5.2** La determinación de las densidades y de los porcentajes de huecos se hará de acuerdo a lo especificado en 8.302.47 Asfaltos: Método de diseño Marshall.

## **6.- Procedimiento de Ensaye**

**6.1** Las series de probetas fabricadas (y curadas si es el caso) se dividen aleatoriamente en dos grupos iguales.

**6.2** Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como  $p_1$ .

**6.3** Uno de los grupos de probetas se coloca en la estufa o en un recinto regulado a  $25 \pm 1$  °C, durante al menos 24 horas.

**6.4** El otro grupo de probetas se sumerge durante 24 horas en un baño de agua regulado a la temperatura que proceda según lo que sigue:

Mezclas fabricadas en caliente:  $60 \pm 1$  °C  
Mezclas fabricadas en frío :  $45 \pm 1$  °C

Posteriormente se sacan las probetas del baño y se mantienen en un recinto u horno regulado a  $25 \pm 1$  °C durante otras 24 horas, con ventilación forzada.

Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como  $p_2$ . La diferencia, si la hubiese, entre  $p_2$  y  $p_1$ , representa la masa de agua retenida por la probeta después del período de secado a  $25 \pm 1$  °C. Esta diferencia se tendrá en cuenta en el cálculo del resultado, punto 7.1, restándola de  $p_2$ .

**6.5** Después de las acciones y períodos de tiempo que se prescriben en 6.3 y 6.4, respectivamente, se procede a determinar la pérdida por desgaste por medio del ensaye cántabro, de acuerdo con el Método 8.302.54, para cada una de las probetas de los grupos.

**6.6** El número de vueltas del tambor de la máquina de Los Angeles durante ensaye será:

300 vueltas para mezclas en caliente.  
200 vueltas para mezclas en frío.

**6.7** Al final del número especificado de vueltas del tambor, se detiene la máquina, se saca la probeta ensayada, se determina su masa con aproximación de 0,1 g y se anota este valor como  $p_2$ .

**6.8** El ensaye se repite de igual manera, para cada una de las probetas de cada serie fabricada.

## **7.- Cálculos y Resultados**

**7.1** Se Calcula para cada probeta ensayada la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento de la masa inicial con la siguiente expresión:

$$p = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \times 100\%$$

donde:

$p$  = valor de la pérdida por desgaste, en %.  
 $p_1$  = masa inicial de la probeta, a 0,1 g.  
 $p_2$  = masa final de la probeta, a 0,1 g.

**7.2** Se determina el valor medio de los porcentajes de las pérdidas de las probetas de cada grupo por separado, anotándose como  $P_A$  el grupo conservado al aire y  $P_S$  el grupo sumergido en agua.

**7.3** El resultado del ensaye se expresará como:

$$\text{Índice de aumento de pérdidas (\%)} = \frac{P_S}{P_A} \times 100$$

donde:

$P_S$  = pérdidas ensaye cántabro grupo probetas sumergidas.

$P_A$  = pérdidas ensaye cántabro grupo probetas no sumergidas.

**7.4** El valor calculado del índice de pérdida se redondea a 1% para expresarlo como resultado del ensaye.

**7.5** En el resultado del ensaye se incluirá la información siguiente:

- Condiciones de la inmersión.
- Valor medio de la densidad de cada grupo de probetas.
- Pérdida al ensaye cántabro de cada grupo.
- Índice de aumento de pérdida.
- Tiempo que han permanecido las probetas en la cámara a la temperatura de ensaye.



## **8.302.56 ASFALTOS: MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN \***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método de ensaye cubre la determinación del contenido de ligante asfáltico de mezclas asfálticas, por ignición del ligante, a 538 °C (1000 °F) o menos, en un horno. El agregado que queda después de la ignición puede usarse para análisis de granulometría.

Se consideran los valores en unidades métricas.

Este Método puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no considera todo lo que atañe a tópicos de seguridad. Es responsabilidad de quien use esta norma, consultar y establecer prácticas apropiadas de seguridad y sanidad, y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias previas a su uso.

\*Este Método es una adaptación de la norma AASHTO T 308 - 99

### **2. Referencias.**

- Norma AASHTO M 231 Aparatos para pesar usados en ensayos de materiales.
- Método 8.202.1 Agregados Pétreos: Método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.302.1 Asfaltos: Método de muestreo.
- Método 8.302.39 Asfaltos: Método para determinar la humedad o volátiles en mezclas asfálticas.
- Método 8.302.27 Asfaltos: Método de muestreo de mezclas.
- Método 8.202.2 Agregados Pétreos: Método para el cuarteo de muestras

Otros Documentos:

- Manual de Instrucciones del fabricante.

### **3.- Resumen del Método de Ensaye.**

El ligante de la mezcla asfáltica es quemado en un horno de ignición aplicable a este Método particular. El contenido de ligante asfáltico es calculado como la diferencia entre la masa inicial de la mezcla asfáltica y la masa residual del agregado, un factor de corrección y contenido de humedad. El contenido de ligante se expresa como porcentaje del árido.

### **4.- Significado y Uso.**

Este método puede usarse para determinaciones cuantitativas del contenido de ligante asfáltico y granulometría de mezclas asfálticas, de muestras de pavimentos para su control de calidad, aceptación de especificaciones y estudios de evaluación. Este método no requiere el uso de solventes.

### **5. Muestreo.**

**5.1** Obtenga muestras de agregado de acuerdo con Método 8.202.1.

**5.2** Obtenga muestras de asfalto de acuerdo con Método 8.302.1.

**5.3** Obtenga muestras de mezclas asfálticas, de acuerdo con Método 8.302.27.

**5.4** La muestra de ensaye debe ser el resultado final de un proceso de cuarteo de una muestra grande tomada de acuerdo con Método 8.202.2.

**5.5** Si la mezcla no es suficientemente blanda para ser separada con una espátula o poruña, colóquela sobre una bandeja grande plana en un horno a  $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $257 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

**5.6** El tamaño de la muestra de ensaye debe estar de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado y la masa, conforme a los requerimientos de la Tabla 8.302.56.A. Cuando la masa de la muestra de ensaye excede la capacidad del equipo usado, la muestra puede dividirse en porciones apropiadas para ensayar, y los resultados debidamente combinados para calcular el contenido de ligante asfáltico (promedio ponderado). Los tamaños de las muestras no deben exceder en más de 400 g el mínimo de masa de muestra recomendada.

**Nota 1:** Mezclas con grandes cantidades de finos tienden a resultados incompletos en la ignición.

**TABLA 8.302.56.A**  
**Cantidad Mínima de las Muestras**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)	Tamaño del Tamiz	Cantidad Mínima de la Muestra (g)
4,75	Nº4	1.200
9,5	3/8 "	1.200
12,5	1/2 "	1.500
19,0	3/4 "	2.000
25,0	1 "	3.000
37,5	1 1/2 "	4.000

## 6.- Factor de corrección (FC)

**6.1** Este método puede ser afectado por el tipo de agregado en la mezcla. En consecuencia, para optimizar la precisión, debe establecerse un factor de corrección para cada tipo de mezcla. Este procedimiento debe efectuarse siempre antes de completar el ensaye de ignición. Ciertos tipos de agregados pueden dar lugar a factores de corrección altos (>0,5 %) y además, resultados erróneos de granulometría, debido a degradación del agregado. Tales mezclas deben ensayarse a temperaturas más bajas que las descritas en el punto 6.9.

**6.2** El proceso de corrección debe repetirse cada vez que haya un cambio en los materiales de la mezcla de diseño.

**6.3** En primer lugar, prepare una mezcla asfáltica para acondicionar el bol de mezclado, mezcla que luego se desecha. El único propósito de ella es acondicionar el bol de mezclado, proporcionándole un cubrimiento de ligante asfáltico y finos. Enseguida, para determinar el factor de corrección, prepare dos muestras con el contenido de asfalto indicado en el diseño, de acuerdo con las exigencias del punto 5. Los agregados usados en las muestras de corrección deben ser muestreados del material acopiado producido para la construcción de la obra.

**6.4** Las muestras recién mezcladas deben colocarse directamente en los cestos portamuestras. Si se les deja enfriar, las muestras deben precalentarse en un horno a  $125^{\circ}\text{C}$  por 25 minutos. No precaliente los canastos de muestras.

**6.5** Ensaye las muestras de acuerdo con los puntos 7 y 8 (Método de Ensaye A) o puntos 9 y 10 (Método de Ensaye B).

**6.6** Efectúe un análisis granulométrico del agregado residual, tal como se indica en el punto 11. Compare esta granulometría con la muestra de referencia del material no quemado, para determinar la cantidad de agregado degradado.

**6.7** Una vez que todas las muestras han sido quemadas, determine los contenidos de ligante asfáltico obtenidos para cada muestra, por cálculo o de los resultados impresos por el equipo de ignición.

**6.8** Si la diferencia entre los contenidos de ligante asfáltico de las muestras excede de 0,15%, repita el procedimiento con 2 muestras más. De los cuatro valores obtenidos, descarte el mayor y el menor. Determine el factor de corrección con los dos resultados restantes. Calcule la diferencia entre los contenidos de ligante asfáltico de cada muestra ensayada en el horno de ignición y el contenido real de la mezcla. El factor de corrección será el promedio de las diferencias de pesos de las mezclas asfálticas, expresado en porcentaje.

**6.9** Si el factor de corrección excede de 0,5%, baje la temperatura del ensaye a  $482 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $900 \pm 8^{\circ}\text{F}$ ) y repita el ensaye. Si este aún excede de 0,5 %, use el factor de corrección obtenido a  $482^{\circ}\text{C}$ .

**6.10** La temperatura para ensayar muestras de mezcla asfáltica según 8.1 y 10.1 debe ser la misma que se utilizó para ensayar las muestras de corrección.

**6.11** Otro procedimiento para obtener el factor de corrección es preparar una mezcla de los agregados, sin ligante asfáltico, de acuerdo con la mezcla de diseño y luego calcinarla. La diferencia de peso de la masa inicial y final, expresada en porcentaje, corresponde al factor de corrección.

## METODO DE ENSAYE A

### 7.- APARATOS.

**7.1 Horno de Ignición.** El horno de ignición de circulación forzada debe ser capaz de mantener la temperatura a  $578^{\circ}\text{C}$  ( $1072^{\circ}\text{F}$ ), con una balanza interna térmicamente aislada de la cámara del horno, con una precisión de 0,1 g. La balanza debe poder pesar una muestra de 3.500 g, más los portamuestras. Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar estas muestras. La puerta del horno debe estar equipada de manera que no se pueda abrir durante el ensaye de ignición.

El horno debe tener un ventilador capaz de expulsar el aire y acelerar el ensaye. Debe instalarse un sistema para reducir las emisiones y el escape de humo. La ventilación, mediante una campana hacia el exterior, debe instalarse correctamente, de modo que no se perciban olores.

El horno debe incluir un sistema de obtención de datos, de manera que el peso pueda determinarse automáticamente y mostrarse durante el ensaye. Debe tener incorporado un programa computacional para calcular el cambio de masa de la muestra y aceptar el ingreso del factor de corrección por pérdidas en el agregado. El horno debe proporcionar una ficha impresa con la masa inicial de la muestra, pérdida de masa de la muestra, temperatura de compensación, factor de corrección, contenido corregido de asfalto (porcentaje), tiempo de ensaye, y temperatura de ensaye. El horno debe tener un indicador audible y otro luminoso, si al cabo de tres minutos consecutivos, la pérdida de masa no excede 0,01 % del total de la masa ensayada.

**Nota 2:** El horno debe permitir al operador cambiar el porcentaje de pérdida final de masa a 0,02 %.

**7.2 Cesto(s) Portamuestras.** Deben ser de tamaño apropiado para permitir que las muestras se puedan extender en una capa delgada, de modo que el aire pueda fluir entre y alrededor de las partículas. Deben poder incluirse dos o más cestos. La muestra debe estar totalmente cubierta con una malla, placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

**Nota 3:** Se ha encontrado que funcionan bien una malla u otro material adecuado, con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (N°8) y 600 micrones (N°30), respectivamente.

**7.3 Bandeja de Retención.** Debe ser de tamaño suficiente para contener el(los) cesto(s) portamuestra(s), y retener las partículas de agregados y ligante asfáltico fundido que caigan a través de la malla.

**7.4 Horno.** Debe ser capaz de mantener una temperatura de  $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $257 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

**7.5 Balanza.** Debe ser de suficiente capacidad y conforme a las exigencias de AASHTO M231, Clase G2, para pesar las muestras en los cestos.

**7.6 Equipo de Seguridad.** Se requieren gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora, capaz de rodear los cestos portamuestras durante el período de enfriamiento.

**7.7 Equipo Misceláneo.** Una bandeja, mayor que los cestos portamuestras, para transferir las muestras después de ignición, espátulas, bols y cepillos de alambre.

## 8.- Procedimientos de Ensaye.

**8.1** Si el horno lo permite, seleccione la opción bitumen agregado para obtener el porcentaje de asfalto de mezcla respecto del agregado. Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o lo que corresponda, según el punto 6.9. Registre manualmente la temperatura del horno (punto de referencia), antes de iniciar el ensaye, si el horno no lo hace automáticamente.

**8.2** Seque en horno la muestra de mezcla asfáltica a masa constante, a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $221 \pm 9^\circ\text{F}$ ) o determine el contenido de humedad de acuerdo con Método 8.302.29.

**8.3** Ingrese el factor de corrección de la mezcla a ser ensayada, como se determina en punto 6.

**8.4** Pese y registre la masa del cesto portamuestra y bandeja de retención, con las protecciones en posición.

**8.5** Prepare la muestra como se describe en 5. Distribúyala uniformemente en el cesto portamuestra, colocado en la bandeja de retención. Tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto. Use una espátula o poruña para nivelar la muestra.

**8.6** Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra (masa total menos la masa del cesto y demás accesorios).

**8.7** Ingrese la masa inicial de la muestra en gramos, en números enteros, en el controlador del horno de ignición. Verifique que se haya ingresado la masa correcta.

**8.8** Abra la puerta de la cámara, y coloque los cestos con muestras en el horno. Cierre la puerta de la cámara, y verifique que la masa de la muestra, incluidos los cestos, que se muestra en la escala del horno sea igual a la masa total registrada según punto 8.6  $\pm 5$  g. Diferencias  $> 5$  g o inestabilidad de la escala del horno pueden indicar que los cestos estarían en contacto con las paredes del horno. Inicie el ensaye, presionando el botón de partida. Esto bloqueará la cámara y partirá el ventilador de combustión.

**Nota 4:** La temperatura del horno desciende bajo el punto de referencia cuando se abre la puerta, pero se recupera al cerrarse y empiece la ignición. La ignición de la muestra aumenta la temperatura bastante sobre el punto de referencia.

**8.9** Continúe el ensaye hasta que una luz y un sonido del indicador indiquen que el ensaye está terminado (el cambio en masa no debe exceder de 0,01% durante tres minutos consecutivos). Presione el botón de partida. Esto desbloqueará la puerta de la cámara y hará que la impresora imprima los resultados del ensaye.

**Nota 5:** Puede aceptarse un porcentaje de pérdida de masa final de 0,02% si se usan agregados que experimentan una pérdida excesiva durante el ensaye de ignición.

**8.10** Use el contenido de ligante asfáltico corregido (porcentaje), tomándolo de la ficha impresa. Si se ha determinado el contenido de humedad, reste éste del contenido de ligante asfáltico corregido, e informe la diferencia como el contenido de ligante asfáltico corregido.

**8.11** Abra la puerta de la cámara, remueva el o los cestos portamuestras, y déjelos enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 30 minutos.

## METODO DE ENSAYE B

### 9.- APARATOS.

**9.1 Horno de Ignición.** El horno de ignición de circulación forzada debe ser capaz de mantener la temperatura a 578°C (1072°F). Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar una muestra de 3.500 g. La puerta del horno debe estar equipada de manera que no se pueda abrir durante el ensaye de ignición. El horno debe tener un ventilador capaz de expulsar el aire y acelerar el ensaye. Debe instalarse un sistema para reducir las emisiones y el escape de humo. La ventilación, mediante una campana hacia el exterior; debe instalarse correctamente, de modo que no se perciban olores.

**9.2 Cesto(s) Portamuestras.** Deben ser de tamaño apropiado para permitir que las muestras se puedan extender en una capa delgada, de modo que el aire pueda fluir entre y alrededor de las partículas. Deben poder incluirse dos o más cestos. La muestra debe estar totalmente cubierta con una malla, placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

**Nota 6:** Se ha encontrado que funcionan bien una malla u otro material adecuado, con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (N°8) y 600 micrones (N°30), respectivamente.

**9.3 Bandeja de Retención.** Debe ser de suficiente tamaño para contener el(los) cesto(s) portamuestra(s), y retener las partículas de agregados y ligante asfáltico fundido que caigan a través de la malla.

**9.4 Horno.** Debe ser capaz de mantener una temperatura de  $125 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $257 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

**9.5 Balanza.** De suficiente capacidad y conforme a exigencias de AASHTO M231, Clase G2, para pesar las muestras en los cestos.

**9.6 Equipo de Seguridad.** Se requieren gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora, capaz de rodear los cestos portamuestras durante el período de enfriamiento.

**9.7 Equipo Misceláneo.** Una bandeja, mayor que los cestos portamuestras, para transferir las muestras después de ignición, espátulas, bols y cepillos de alambre.

### 10.- Procedimientos de Ensaye.

**10.1** Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o lo que corresponda, según el punto 6.9.

**10.2** Seque en horno la muestra de mezcla asfáltica a masa constante, a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $221 \pm 9^\circ\text{F}$ ) o determine el contenido de humedad de acuerdo con Método 8.302.29.

**10.3** Ingrese el factor de corrección de la mezcla a ser ensayada, como se determina en 6.

**10.4** Pese y registre la masa del cesto portamuestra y bandeja de retención, con las protecciones en posición.

**10.5** Prepare la muestra como se describe en 5. Distribúyala uniformemente en el cesto portamuestra, colocado en la bandeja de retención. Tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto.

**10.6** Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra ( $m_s$ =masa total menos la masa del cesto y demás accesorios).

**10.7** Queme la muestra de mezcla asfáltica en el horno por lo menos durante 45 minutos.

**Nota 7:** El tiempo apropiado para un quemado inicial de una muestra de mezcla asfáltica depende del tamaño de la muestra. Para muestras grandes, el tiempo puede ser significativamente mayor que 45 minutos. Vea el manual del fabricante.

**10.8** Saque la muestra del horno después de la ignición y déjela enfriar a temperatura ambiente, a lo menos por 30 minutos.

**10.9** Pese y registre la masa de la muestra ( $m_A$ ) después de la ignición, con aproximación de 0,1 g.

**10.10** Ponga de nuevo la muestra en el horno.

**10.11** Después que el horno haya alcanzado la temperatura registrada, quemé la muestra por lo menos durante 15 minutos.

**10.12** Saque la muestra del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente, a lo menos durante 30 minutos.

**10.13** Pese y registre la masa de la muestra ( $m_A$ ) después de la ignición

**10.14** Repita estos pasos hasta que el cambio en la masa medida ( $m_A$ ) después de la ignición no exceda 0,01% de la masa inicial de la muestra.

**Nota 8:** Puede aceptarse un porcentaje de pérdida de masa final de 0,02%, si se usan agregados que experimentan una pérdida excesiva durante el ensaye de ignición.

**10.15** Registre el último valor obtenido de la masa de la muestra ( $m_A$ ) después de la ignición.

**10.16** Calcule el contenido de asfalto de la muestra como sigue:

$$AC\% = \left[ \frac{(m_S - m_A)}{m_A} \times 100 \right] - FC$$

donde:

AC% = contenido de asfalto medido (corregido);  
 $m_A$  = peso remanente total del agregado después de la ignición;  
 $m_S$  = peso total de la muestra antes de la ignición; y  
FC = factor de corrección

## 11.- Granulometría

**11.1** Deje enfriar la muestra a temperatura ambiente en los cestos portamuestras.

**11.2** Vacíe el contenido de los cestos sobre una bandeja. Use una escobilla pequeña de alambre para que cualquier residuo de finos sea removido de los cestos.

**11.3** Ejecute análisis granulométrico.

## 12.- Informe.

El informe del Método de Ensaye (A o B) debe incluir: contenido corregido de ligante asfáltico, factor de corrección, factor de compensación de temperatura (si es aplicable), porcentaje total de pérdidas, masa de la muestra, contenido de humedad (si se determina) y temperatura de ensaye. Incluya la ficha impresa original.

### 13.- Precisión y Sesgo.

**13.1 Precisión.** La precisión del Método A fue determinada en un estudio de NCAT para mezclas asfálticas de rodadura (véase la Tabla 8.302.56.B). No se ha determinado aún la precisión del Método B.

**TABLA 8.302.56.B**

<b>Contenido de Asfalto</b>	<b>Desviación Normal (%)</b>	<b>Rango Aceptable de dos Resultados de Ensayes (%)</b>
Precisión de un operador	0,04	0,11
Precisión entre laboratorios	0,06	0,17

**Nota 9:** La precisión determinada está basada en 4 tipos de agregados, 4 repeticiones, y 12 laboratorios participantes. Los cuatro agregados fueron ensayados como mezclas asfálticas de rodadura y tenían valores de absorción relativamente bajos.

**13.2 Sesgo.** Los sesgos para los Métodos de Ensaye A y B no han sido determinados.



## **8.302.57 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACIOS DE AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS \***

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método describe la determinación del contenido de vacíos sueltos no compactados de agregados finos. Cuando se mide sobre cualquier agregado de graduación conocida, el contenido de vacíos da una indicación de la angularidad, esfericidad, y textura superficial del agregado comparado con otro agregado fino ensayado con la misma graduación. Cuando el contenido de vacíos se mide sobre un agregado fino tal como se recibe, puede ser un indicador del efecto del agregado fino sobre la trabajabilidad de una mezcla en la cual se puede usar.

**1.2** Se incluyen tres procedimientos para la medida del contenido de vacíos. Dos usan agregados finos graduados (graduación normal o tal como se recibe), y la otra usa varias fracciones de tamaños individuales para determinación de contenido de vacíos.

**1.2.1** Muestra Graduada Normal (Método A)- Este método usa una graduación de agregado fino normal que se obtiene combinando fracciones individuales de mallas de un análisis típico de mallas de agregado fino. Véase el punto 9 sobre Preparación de Muestras de Ensaye para Graduación.

**1.2.2** Fracciones con Tamaños Individuales (Método B)- Este método usa una de cada tres fracciones de tamaños de agregado fino: (a) 2,5 mm (N°8) a 1,25 mm (N°16); (b) 1,25 mm (N°16) a 0,63 mm (N° 30) y (c) 0,63 mm (N° 30) a 0,315 mm (N°50). Cada tamaño es ensayado separadamente en este método.

**1.2.3** Graduación tal como se recibe (Método C)- Este método usa la porción del agregado fino menor de malla de 5 mm (N°4).

**1.2.4** Vea la sección Significado y Uso como guía del método a usar.

**1.2.5** Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como normales.

**1.2.6** Esta norma no considera todo lo que atañe a tópicos de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y sanidad y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias previas a su uso.

\*El Método 8.302.57 es una adaptación de la norma AASHTO T 304 – 96 (2000)

### **2. Referencias.**

Normas ASTM:

- B 88: Especificaciones para Cañerías de Cobre Sin Costura para Agua
- B 88M: Especificaciones para Cañerías de Cobre Sin Costura para Agua (métricas)
- C29/29M:\* Método de Ensayo para la Densidad a Bulk y Vacíos en el Agregado
- C 117:\* Método de Ensayo para Materiales más finos que malla 0,08 mm (N°200) de Agregados Minerales por Lavado
- C 125: Terminología relativa a Concreto y Agregados para Concreto
- C 128:\* Método de Ensayo para el peso específico y Absorción de Agregados Finos
- C 136:\* Método de Ensayo para Análisis de Mallas de Agregados Finos y Gruesos
- C 702:\* Práctica para Reducir Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo
- C 778:\* Especificación para Arena Normal
- D 75:\* Práctica para Muestreo de Agregados

Documentos ACI:

- ACI 116R: Terminología de Cemento y Concreto

\* Referida a MC-V8.

### **3.- Terminología.**

**3.1** Términos en uso en esta Norma están definidos en ASTM C125 o ACI 116R

### **4.- Resumen del Método de Ensaye.**

**4.1** Una medida nominal cilíndrica calibrada de 100 mL se llena con agregado fino de graduación prescrita permitiéndole a la muestra fluir a través de un embudo desde una altura fija dentro de la medida. El agregado fino se enrasa, y se determina su masa por pesada. El contenido de vacíos no compactados se calcula como la diferencia entre el volumen de la medida cilíndrica y el volumen absoluto del agregado fino recogido en la medida. El contenido de vacíos no compactados se calcula usando el peso específico seco Bulk del agregado fino. Repita el procedimiento sobre cada muestra y promedie los resultados.

**4.1.1** Para una muestra graduada (Método A o C) el porcentaje de contenido de vacíos se determina directamente, y se informa el valor promedio de dos repeticiones.

**4.1.2** Para fracciones de tamaños individuales (Método B), el porcentaje promedio de contenido de vacíos se calcula usando los resultados de ensayos de cada una de las tres fracciones individuales de tamaños.

### **5.- Significado y Uso.**

**5.1** Métodos A y B proporcionan contenidos de vacíos determinados bajo condiciones normalizadas las que dependen de la forma de las partículas y de la textura del agregado fino. Un aumento en el contenido de vacíos por estos procedimientos indica mayor angularidad, menor esfericidad, o textura de la superficie más áspera, o alguna combinación de éstos tres factores. Una disminución en el resultado del contenido de vacíos está asociado con agregado fino más redondeado, esférico o de superficies suaves, o una combinación de estos tres factores.

**5.2** El Método C mide el contenido de vacíos no compactados de la porción del material bajo malla 5 mm (N°4) tal como es recibido. El contenido de vacíos depende de la graduación así como de la forma de las partículas y textura.

**5.3** El contenido de vacíos determinado sobre una muestra graduada normal (Método A) no es directamente comparable con el promedio de contenido de vacíos de tres fracciones de tamaño individual de una misma muestra ensayada separadamente (Método B). Una muestra que consista de partículas de tamaño individual tendrá un contenido de vacíos mayor que una muestra graduada. En consecuencia, use ya sea uno u otro método como medida comparativa de forma y textura, e identifique cual método se ha usado para obtener los datos informados. El método C no proporciona una indicación directa de forma y textura si la graduación cambia de una muestra a otra.

- a) La muestra graduada normal (Método A) es más útil como un ensaye rápido, pues indica las propiedades de la forma de las partículas de un agregado de graduación fina. Típicamente, el material usado para preparar una muestra graduada normal puede obtenerse de lo que resta de las fracciones de tamaños después de ejecutar un análisis simple de cernido de un agregado fino.
- b) Obtener y ensayar fracciones de tamaños individuales (Método B) requiere más tiempo y muestras iniciales más grandes que usando la muestra graduada. En todo caso, el Método B proporciona información adicional concerniente a las características de forma y textura de tamaños individuales.
- c) Ensayar muestras con graduación tal como se reciben (Método C) puede ser útil en seleccionar proporciones de componentes usados en una variedad de mezclas. En general, altos contenidos de vacíos sugiere que el material puede ser mejorado proporcionando finos adicionales al agregado fino o puede necesitarse más material cementante para llenar los huecos entre las partículas.
- d) El peso específico seco Bulk del agregado fino se usa para calcular el contenido de vacíos. La efectividad de estos métodos para determinar el contenido de vacíos y sus relaciones con la forma de las partículas y textura depende de que el peso específico seco Bulk de los diferentes tamaños

de las fracciones sean iguales, o cerca de eso. El contenido de vacíos es actualmente una función del volumen de cada tamaño de fracción. Si el tipo de roca o minerales, o su porosidad, en cualquiera de los tamaños de fracciones varía marcadamente, puede ser necesario determinar el peso específico de los tamaños de las fracciones usadas en el ensaye.

**5.4** La información del contenido de vacíos de los Métodos A, B, o C pueden ser útiles como indicadores de propiedades tales como: necesidad de agua de mezclado para concretos de cemento hidráulico; fluidez, facilidad de bombeo, o factores de trabajabilidad cuando se formulan morteros o lechadas; o, en concretos bituminosos, el efecto del agregado fino sobre la estabilidad o vacíos en el agregado mineral; o la estabilidad de la porción del agregado fino de una base de agregado grueso.

## 6.- Aparatos.

**6.1 Medida Cilíndrica.** Un cilindro recto de aproximadamente 100 ml de capacidad que tenga un diámetro interior de aproximadamente 39 mm y una altura interior de aproximadamente 86 mm de cañería de agua en cobre extrudido que cumpla Especificaciones ASTM B88 Tipo M o B88 M Tipo C. El fondo de la medida debe ser de metal de a lo menos 6 mm de espesor, firmemente sellado al cilindro, y debe estar provisto de un medio para alinear el eje del cilindro con el del embudo. (Vea Lámina 8.302.57.A).

**6.2 Embudo.** La superficie lateral del cono vertical truncado estará inclinada  $60 \pm 4^\circ$  con la horizontal con una abertura de  $12,7 \pm 0,6$  mm de diámetro. La sección del embudo debe ser una pieza de metal, suave en el interior y a lo menos de 38 mm de alto. Tendrá un volumen de a lo menos 200 mL y debe estar provisto de un envase suplementario de vidrio o metal para proporcionar el volumen requerido. (Vea Lámina 8.302.57.B)

**Nota :1** La parte superior del picnómetro vendido por Hogentogler y Cía., Inc., 9519 Gerwig, Columbia, MD 21045, 410-381-2390 es satisfactorio para la sección del embudo, excepto que la medida de la abertura tiene que agrandarse y cualquier rebaba o reborde aparentes deben ser removidos con un limado ligero o lijado antes de su uso. Esta parte superior de picnómetro debe usarse con un frasco de vidrio apropiado con el fondo removido (Vea Lámina 8.302.57.B).

**6.3 Soporte del Embudo.** Un soporte con tres o cuatro patas capaz de soportar firmemente el embudo en posición con el eje del embudo en línea (dentro de un ángulo de  $4^\circ$  y un desplazamiento de 2 mm) con el eje de la medida cilíndrica. La abertura del embudo debe estar a  $115 \pm 2$  mm sobre la parte superior del cilindro. Una disposición apropiada se muestra en la Lámina 8.302.57.B.

**6.4 Placa de vidrio.** Una placa cuadrada de vidrio de aproximadamente 60 x 60 mm con espesor mínimo de 4 mm se usa para calibrar la medida cilíndrica.

**6.5 Bandeja.** Una bandeja de plástico o metal de dimensiones suficientes para acomodar el soporte del embudo y prevenir pérdida de material. El propósito de esta bandeja es capturar y retener partículas de agregado fino que rebalsen de la medida durante el llenado y enrasado.

**6.6 Espátula de Metal.** Con una hoja de aproximadamente 100 mm de largo y un ancho de a lo menos 20 mm con bordes rectos. El borde recto de la hoja de la espátula se usa para enrasar el agregado fino.

**6.7 Balanza.** Precisa y legible a  $\pm 0,1$  g dentro del rango de uso, capaz de pesar la medida cilíndrica y su contenido.

## 7.- Muestreo.

**7.1** La(s) muestra(s) para este ensaye deben obtenerse usando ASTM D 75 y ASTM C 702, o de muestras de análisis de cernido usadas para ASTM C 136, o de agregados extraídos de especímenes de concreto asfáltico. Para Métodos A y B, la muestra se lava sobre una malla de 0,160 mm (N°100) o 0,08 mm (N° 200) de acuerdo con ASTM C 117 y después secada y cernida en fracciones separadas en tamaño de acuerdo a procedimientos de ASTM C 136. Mantenga las fracciones de tamaño necesarias obtenidas de uno o más análisis de cernido en condición seca y en envases separados para cada medida. Para el

Método C, seque una porción cuarteada de la muestra como se recibe de acuerdo al procedimiento de secado de ASTM C 136.

## 8.- Calibración de la Medida Cilíndrica.

**8.1** Aplique una capa ligera de grasa al borde superior seco de la medida cilíndrica vacía. Pese la medida, la grasa y la placa de vidrio. Llene la medida con agua des-ionizada y recién hervida a temperatura entre 18 a 24 °C. Anote la temperatura del agua. Coloque la placa de vidrio sobre la medida, asegurándose que no hay burbujas de aire. Seque las superficies exteriores de la medida y determine la masa combinada de la medida, placa de vidrio, grasa, y agua por pesada. Después de la pesada final, remueva la grasa, y determine la masa de la medida limpia, seca y vacía para ensayos posteriores.

**8.2** Calcule el volumen de la medida como sigue:

$$V = 1000 \frac{M}{D}$$

Donde:

V = volumen del cilindro, mL

M = masa neta de agua, g

D = densidad del agua (vea tabla en ASTM C 29/C 29/M para la densidad a la temperatura usada, (o tabla correspondiente 8.102.10), kg/m<sup>3</sup> .  
Determine el valor aproximando a 0,1 ml.

**Nota 2:** Si el volumen de la medida es mayor de 100,0 ml, puede ser deseable esmerilar el borde superior del cilindro hasta que el volumen sea exactamente 100.0 mL, para simplificar cálculos posteriores.

## 9.- Preparación de las Muestras de Ensaye.

**9.1 Método A - Muestra de Graduación Normal.** Pese y combine las siguientes cantidades de agregados finos los que han sido secados y cernidos de acuerdo a ASTM C 136.

Fracciones de Tamaños Individuales	Masa (g)	%
2,5 mm (N°8) a 1,25 mm (N°16)	44	23,2
1,25 mm (N°16) a 0,63 mm (N°30)	57	30,0
0,63 mm (N°30) a 0,315 mm (N°50)	72	37,9
0,315 mm (N°50) a 0,16 mm (N°100)	17	8,9
<b>Totales</b>	<b>190</b>	<b>100</b>

La tolerancia de cada una de estas cantidades es ± 0,2 g.

**9.2 Método B - Fracciones de Tamaños Individuales.** Prepare una muestra separada de 190 g de agregado fino, secada y tamizada de acuerdo con ASTM C 136, para cada una de las siguientes fracciones:

Fracción de Tamaño Individual	Masa, g
2,5 mm (N°8) a 1.25 mm (N°16)	190
1.25 mm (N°16) a 0,63 mm (N°30)	190
0,63 mm (N°30) a 0,315 mm (N°50)	190

La tolerancia de cada una de estas cantidades es ± 1 g. No mezcle estas muestras juntas. Cada tamaño se ensaya separadamente.

**9.3 Método C – Graduación como es recibida.** Pase la muestra (secada de acuerdo con ASTM C 136) a través de la malla de 5 mm (N°4) y obtenga para el ensaye una muestra de 190 g del material que pasa.

**9.4 Peso Específico del Agregado Fino.** Si el peso específico seco Bulk del agregado fino de la fuente es desconocido, determínelo sobre el material menor a 5 mm (N°4) de acuerdo a ASTM C128. Use este valor en los cálculos siguientes a menos que algunos tamaños de fracciones difieran por más de 0,05 del peso específico típico de la muestra completa, en cuyo caso el peso específico de la fracción (o fracciones) en ensaye deben determinarse. Un indicador de diferencias en peso específico de varios tamaños de partículas es una comparación de pesos específicos efectuados sobre agregados finos en diferentes graduaciones. Pesos específicos pueden efectuarse sobre graduaciones con o sin fracciones específicas de tamaño de interés. Si las diferencias de peso específico difieren en más de 0,05, determine los pesos específicos de los tamaños individuales de 2,5 mm (N°8) a 0,16 mm (N°100) para uso con el método A o de las fracciones de tamaños individuales para uso con el método B ya sea por medidas directas o por cálculo usando los datos de pesos específicos de graduaciones con o sin los tamaños de fracciones de interés. Una diferencia de peso específico de 0,05 cambiará el contenido de vacíos calculado en cerca de uno por ciento.

## 10.- Procedimiento.

**10.1** Mezcle cada muestra con la espátula hasta que parezca estar homogénea. Coloque el frasco y la sección del embudo en el soporte y centre la medida cilíndrica como se muestra en Lámina 8.302.57.B. Use un dedo para bloquear la abertura del embudo. Vierta la muestra de ensaye en el embudo. Enrase el material en el embudo con la espátula. Remueva el dedo y permita que la muestra caiga libremente dentro de la medida cilíndrica.

**10.2** Después de vaciar el embudo, remueva el montón de exceso de agregado fino de la medida cilíndrica con una sola pasada vertical con el ancho de la hoja usando la parte recta del canto en ligero contacto con la parte superior de la medida. Hasta que esta operación no se haya completado, tenga buen cuidado de evitar cualquier vibración o disturbio que pueda causar compactación del agregado fino en la medida cilíndrica. (Nota 3). Cepille los granos adheridos exteriormente a la medida cilíndrica y determine la masa de ésta y su contenido aproximando a 0,1 g. Guarde todas las partículas de agregado fino para un segundo ensaye.

**Nota 3:** Después de enrasada, la medida cilíndrica debe golpearse suavemente para compactar la muestra y facilitar la transferencia desde el recipiente a la balanza sin perder nada de la muestra.

**10.3** Recombine la muestra de la bandeja de retención y de la medida cilíndrica y repita el procedimiento. Los resultados de dos intentos se promedian. Vea numeral 11. Cálculos.

**10.4** Anote la masa de la medida vacía. También, después de cada intento, anote la masa de la medida y del agregado fino.

## 11. Cálculos.

**11.1** Calcule los vacíos no compactados de cada determinación como sigue:

$$U = \frac{V - \left( \frac{F}{G} \right)}{V} \times 100$$

donde:

- V : volumen de la medida cilíndrica, ml;
- F : masa neta, g, de agregado fino en la medida (masa bruta menos la masa de la medida vacía)
- G : peso específico Bulk del agregado fino; y
- U : vacíos no compactados, por ciento, en el material.

**11.2** Para muestras graduadas Normales (Método A) calcule el promedio de vacíos no compactados de dos determinaciones e informe el resultado como  $U_s$ .

**11.3** Para Fracciones Tamaños Individuales (Método B) calcule:

Primero, el promedio de vacíos no compactados para la determinación hecha sobre cada una de las tres muestras de fracciones de tamaños:

$U_1$  = Vacíos No Compactados, 2,5 mm (N°8) a 1,25 mm (N°16), por ciento

$U_2$  = Vacíos No Compactados, 1,25 mm (N°16) a 0,63 mm (N°30), por ciento

$U_3$  = Vacíos No Compactados, 0,63 mm (N°30) a 0,315 mm (N°50), por ciento

Segundo, el promedio de vacíos no compactados ( $U_m$ ) incluyendo los resultados de todos los tres tamaños:

$$U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$$

Para graduaciones tal como se reciben (Método C) calcule el promedio de vacíos no compactados para las dos determinaciones e informe el resultado como  $U_R$ .

## 12.- Informe.

**12.1** Para Muestra de Graduación Normal (Método A), informe:

- Los Vacíos No Compactados ( $U_s$ ) en porcentaje, aproximando al décimo por ciento (0,1%).
- El valor de gravedad específica usado en los cálculos.

**12.2.** Para Fracciones de Tamaños Individuales (Método B), informe:

- El porcentaje de vacíos, aproximando al décimo por ciento (0,1%).

**12.3.** Para Vacíos No Compactados para fracciones de tamaños: (a) 2,5 mm (N°8) a 1,25 mm (N°16) ( $U_1$ ); (b) 1,25 mm (N°16) a 0,63 mm (N°30) ( $U_2$ ); (c) 0,63 mm (N°30) a 0,315 mm (N°50) ( $U_3$ ), informe:

- Promedio de Vacíos No Compactados ( $U_m$ )
- El (los) valor(es) del peso específico usados en los cálculos, y si el (los) valor(es) del peso específico fueron determinados sobre una muestra graduada o sobre fracciones de tamaños individuales usados en el ensaye.

**12.4.** Para Muestras como Recibidas (Método C) informe:

- Los vacíos no compactados ( $U_R$ ) en porcentaje aproximando al décimo por ciento (0,1%).
- El valor del peso específico usado en los cálculos.

## 13.- Precisión y Sesgo.

**13.1** Precisión.

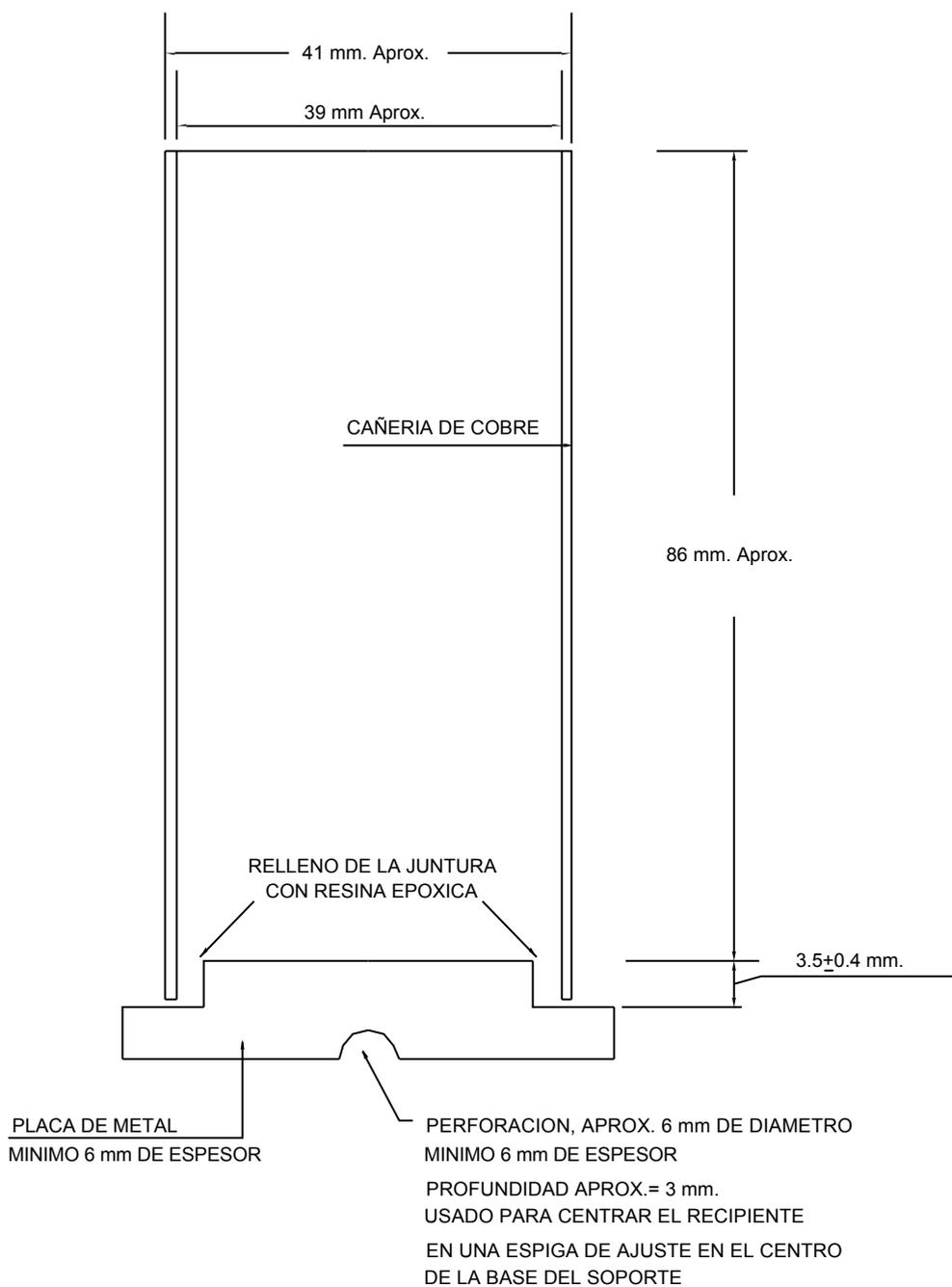
- a) La desviación normal de un solo operador ha resultado ser 0,13 % de vacíos (1S), usando la arena de sílice graduada normal como se describe en ASTM C 778. En consecuencia, resultados de dos ensayos propiamente ejecutados por un mismo operador sobre muestras similares no deben diferir por más de 0,37 % (D2S).
- b) La desviación normal de multi laboratorios ha resultado ser 0,33 % (1S), usando agregado fino como se describe en ASTM C 778. En consecuencia, resultados de dos ensayos propiamente

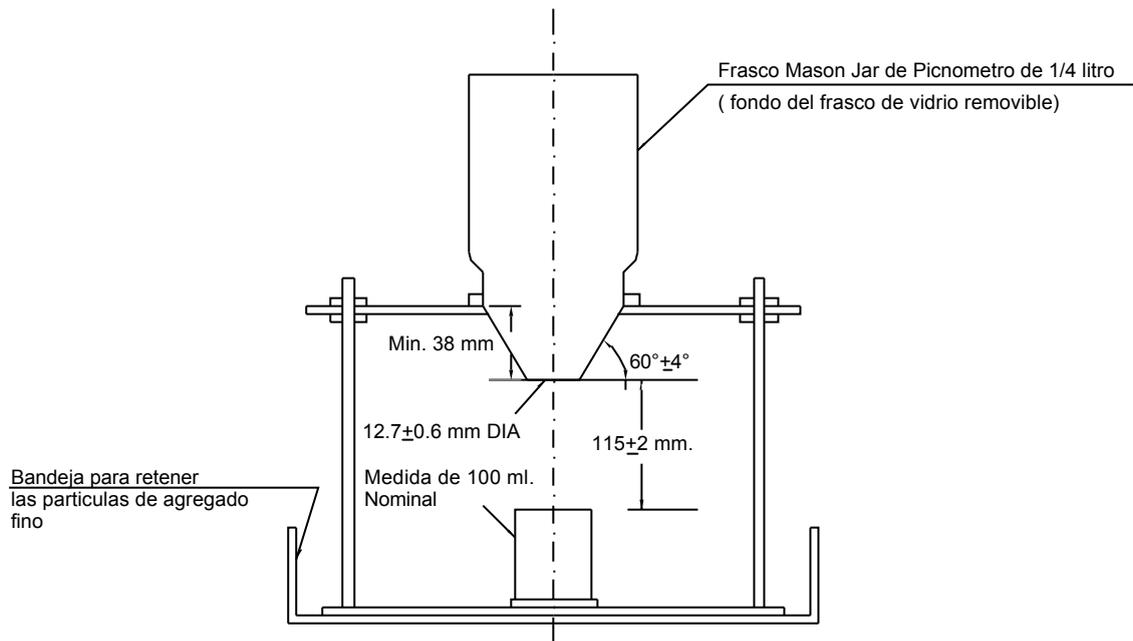
ejecutados por diferentes laboratorios sobre muestras similares no deben diferir por más de 0,93 % (D2S).

- c) Los planteamientos de arriba conciernen a contenidos de vacíos determinados sobre “arenas graduadas normales” como se describen en Especificaciones C 778, la que es considerada redondeada, y es graduada desde 0,63 mm (N°30) a 0,16 mm (N°100), y puede no ser típica de otros agregados finos. Se necesitan datos adicionales de precisión para ensayos de agregados finos que tengan diferentes niveles de angularidad y textura ensayados de acuerdo con este Método de Ensaye.

**13.2 Sesgo.** Ya que no hay material apropiado de referencia aceptado para determinar el sesgo por los procedimientos de este Método de Ensaye, no se ha determinado sesgo.

**14.- Palabras Clave.** Angularidad; agregado fino; forma de partícula; textura superficial; contenido de vacíos.





SECCION A TRAVES DEL CENTRO DEL APARATO



## **8.302.58 ASFALTOS: METODO DE RECUPERACION DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA SU CARACTERIZACION \***

### **1.- Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la recuperación y posterior caracterización del ligante de las mezclas asfálticas. Para ello, el proceso de recuperación indicado en esta norma asegura una alteración mínima de sus propiedades.

**1.2** El procedimiento es adecuado para la recuperación de cementos asfálticos y asfaltos fluidificados, aunque con estos últimos los resultados pueden ser menos precisos. También se puede aplicar a la recuperación del ligante soluble de las mezclas alquitrán-betún, siempre que su solubilidad sea superior al 95% cuando se determina según Método 8.302.11 y empleando diclorometano como disolvente.

**Nota 1:** En el caso de los asfaltos naturales, las propiedades del ligante recuperado pueden resultar diferentes de las del ligante original.

**1.3** El ensaye es especialmente útil para conocer las alteraciones experimentadas por un ligante asfáltico, tanto durante un proceso de mezclado en caliente como posteriormente a lo largo de la vida de servicio de una mezcla asfáltica.

**1.4** El ligante se extrae de la mezcla por disolución en diclorometano. Después de separar la parte insoluble, en esta norma se indican dos procedimientos para la posterior eliminación del disolvente: uno, mediante columna de fraccionamiento, aplicable a la mayoría de los ligantes asfálticos con las limitaciones ya indicadas en el punto 1.1 y; otro más sencillo, mediante un matraz rotatorio, aplicable solamente a los ligantes asfálticos.

\*El método 8.302.58 es una adaptación de la norma española NLT-353/85.

### **2.- Referencias.**

- 8.302.11. Asfaltos: Método para Determinar la Solubilidad en Solventes Orgánicos
- 8.302.26. Asfaltos: Método para Determinar el Contenido de Ligante asfáltico de Mezclas Asfálticas por Centrifugación-Ensaye de Extracción.

### **Correspondencia con otras Normas**

Método con Columna de Fraccionamiento:

- IP 105/82 (1986) "Recovery of Bituminous Binders by Dichloromethane Extraction". (ST-E-2).
- ASTM D 1856-79 (1985) "Test Method for Recovery of Asphalt from Solution by Abson Method"

Método con destilador rotatorio:

- CEDEX. Centro de Estudio de Carreteras-RILEM.

### **3.- Método con Columna de Fraccionamiento - Principio del Método**

**3.1** En este procedimiento, una vez extraído el ligante de la mezcla bituminosa con diclorometano y separada la fracción mineral insoluble, la solución se concentra por destilación a presión atmosférica mediante una columna de fraccionamiento. Las últimas trazas de disolvente se eliminan del concentrado a la temperatura de 175°C, o 100°C por encima de la del punto de ablandamiento supuesto del ligante recuperado, si esta es más alta, a la presión reducida de 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg) y en una atmósfera de dióxido de carbono.

**Nota 2:** Cuando se trata de asfaltos fluidificados muy volátiles no debe usarse el dióxido de carbono.

#### 4.- Aparatos y Materiales Necesarios

**4.1 Recipiente para la muestra.** Un recipiente de vidrio de boca ancha con tapa, de suficiente capacidad para permitir la agitación de la muestra con el disolvente.

**4.2 Centrífuga.** Capaz de desarrollar una aceleración mínima de 25.000 m/s<sup>2</sup>, equivalente a 2.550 veces la aceleración de gravedad (2.550 g), y calculada según la expresión:

$$\text{aceleración} = 1,097 n^2 * r * 10^{-5}$$

donde:

n = número de revoluciones por minuto

r = radio de giro de la muestra en los tubos, en mm

Los tubos de la centrífuga deben estar firmemente asegurados.

**4.3 Sistema de Filtración.** Embudos de 200 mm de diámetro y papeles filtro redondos, de velocidad de flujo media y capacidad de carga media.

**Nota 3:** Puede usarse igualmente cualquier centrífuga de 4 a 6 tubos de 200 ml ó 500 ml de capacidad, con un radio de giro de 250 mm y a una velocidad de 3.000 rpm.

**4.4 Aparato de Destilación.** Montado según el esquema indicado en la Lámina 8.302.58.A, con todas las conexiones hechas de juntas esmeriladas y cuyas partes esenciales se indican a continuación:

**4.4.1 Unidad de Destilación.** Está formada por un matraz de vidrio resistente al calor, de fondo redondo y 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, con una pieza adaptadora de tres bocas. Por la boca central se introduce un tubo de vidrio de 4 cm a 6 cm de diámetro hasta 5 mm del fondo del matraz, para suministrar la corriente de dióxido de carbono. A la boca lateral oblicua se ajusta un embudo de decantación de 250 cm<sup>3</sup>, cuyo vástago penetra hasta la altura indicada en la Lámina 8.302.58.A. La boca acodada se conecta a la columna de fraccionamiento, seguida de un condensador de vidrio enfriado con agua y un separador de Bertrand, terminando en el matraz colector para recoger el disolvente destilado. La columna de fraccionamiento es del tipo Dufton o Vigreux, con una longitud efectiva de 300 mm a 400 mm. Para la recuperación de ligantes asfálticos, la columna irá protegida con una camisa de vacío. En el caso de ligantes fluidificados, se empleará la columna sin camisa de protección. El ajuste de las conexiones esmeriladas se realiza mediante juntas de teflón.

**4.4.2 Equipo de vacío.** Capaz de proporcionar un vacío aproximado de 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg). Puede utilizarse una bomba de vacío, aunque debido al riesgo de dañarla por los vapores del disolvente si no se dispone de un sistema adecuado de eliminación, es preferible utilizar una buena trompa de agua capaz de alcanzar los mismos resultados.

**4.4.3 Manómetro.** Para la medida del vacío se puede utilizar un manómetro del tipo aneroide como el indicado en la Lámina 8.302.58.A, aunque es más recomendable, por su exactitud, el empleo de un manómetro de mercurio con rama en U, como el utilizado en la Lámina 8.302.58.B.

**4.4.4 Baño de Aceite.** De capacidad adecuada al matraz de vidrio empleado, calentado eléctricamente y provisto de termostato. El aceite utilizado debe ser resistente a las temperaturas de ensaye.

**4.4.5 Soporte Regulable.** Para servir de apoyo al baño de aceite y con altura regulable manualmente para los desplazamientos verticales del baño.

**4.4.6 Termómetro** de 0°C a 200°C y dividido en grados, para las temperaturas del baño de aceite.

**4.5 Disolvente.** Diclorometano R. A. (cloruro de metileno), destilado al 95 % entre 39,6°C y 40,2°C y al 100% a 42°C (Nota 4).

**4.6 Dióxido de Carbono,** en botella a presión y con válvula de regulación acoplada.

**4.7 Cloruro cálcico escoriforme**

#### **4.8 Caudalímetro**, graduado para caudales de dióxido de carbono entre 0 y 30 ml/minuto a la presión de 10 kPa.

**Nota 4:** Los vapores de diclorometano son tóxicos, por lo que es fundamental trabajar en vitrina bien ventilada. Diclorometano no es inflamable, pero en contacto con llamas o resistencias al rojo, sus vapores se transforman en fosgeno, gas sumamente tóxico, por lo que se deben extremar las precauciones y no fumar.

### **5.- Procedimiento.**

#### **5.1 Preparación de la muestra.**

**5.1.1 General.** Se coloca en el recipiente para la muestra la mezcla asfáltica suficiente para obtener por disolución la cantidad de ligante necesario para los ensayos de caracterización prescritos, aunque, en ningún caso, esta cantidad debe ser mayor de 250 g de ligante soluble. Se añaden aproximadamente 1.500 cm<sup>3</sup> de diclorometano y unos 5 g de cloruro cálcico por cada gramo de agua presente en la muestra. El contenido se agita convenientemente hasta que se haya disuelto todo el ligante.

**5.1.2 Preparación de la solución para ensaye.** Se deja la solución en reposo entre 10 y 30 minutos y se separa por decantación, a través de un tamiz conveniente, la parte mineral no fina. La separación final de finos y polvo mineral puede realizarse por filtración, centrifugación o ambos procedimientos; por ejemplo, una filtración durante la noche o seguida de centrifugación a la mañana siguiente. Sin embargo, cuando hay polvo mineral en la muestra, la operación de separarlo de la fracción soluble por filtración puede resultar extremadamente lenta y dificultosa, por lo que es preferible en estos casos la separación por centrifugación durante 20 minutos y una aceleración mínima de 25.000 m/s<sup>2</sup> (**Nota 5**).

**5.1.3 Humedad.** Durante todas estas operaciones de separación de la parte mineral, deben extremarse las precauciones para evitar la condensación de humedad en la solución. Principalmente hay que reducir a un mínimo la evaporación de diclorometano, por el riesgo de condensación que lleva consigo. La disolución se reserva en un recipiente cerrado hasta la destilación.

**Nota 5:** Si después de una tentativa de filtración de unas 16 horas, o toda una noche, queda aún una pasta por filtrar de unos 5 cm de espesor en el papel filtro, se pasa éste y su contenido con cuidado a un matraz y se añade diclorometano puro hasta disolver de nuevo la muestra. A continuación se separa por centrifugación como se indica en 5.1.2.

**5.2 Comprobación de la impermeabilidad al aire del aparato de destilación.** Se monta el conjunto de destilación como se indica en la Lámina 8.302.58.A, con todas sus juntas esmeriladas untadas ligeramente con vaselina o glicerina, aunque no con silicona. Se conectan a continuación, y en este orden, la botella de dióxido de carbono, la válvula de regulación, el caudalímetro y, finalmente, la goma de suministro del gas con el tubo de vidrio ajustado en la boca central del matraz. Con la válvula del gas cerrada y todas las demás del aparato abiertas, reducir la presión lentamente desde la atmosférica hasta 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg). Se cierra entonces la válvula del manómetro que aísla el sistema de vacío y se comprueba durante algunos minutos que no hay aumento de presión en el manómetro.

**Nota 6:** Es de la mayor importancia que no entre aire por ninguna unión del equipo de suministro del gas, principalmente en las conexiones y en el tubo flexible de suministro.

#### **5.3 Destilación de la muestra.**

**5.3.1** Se introducen en el matraz dos o tres trozos de plato poroso para ayudar a la destilación.

**5.3.2** Se añaden al matraz, a través del tubo de decantación, 100 cm<sup>3</sup> de la disolución preparada según 5.1.2 y se comienza la calefacción, elevando la temperatura del baño hasta los 100 °C. Una vez iniciada la destilación, se introducen de vez en cuando, a través del embudo, pequeñas cantidades de disolución al matraz, procurando mantener un volumen constante que, en ningún caso, debe exceder los 250 cm<sup>3</sup>. La temperatura del baño se debe mantener igualmente en los 100 °C. Cuando se haya añadido al matraz la

totalidad de la disolución, continuar la destilación para concentrar el extracto, dejando que la temperatura suba en forma natural, sin tocar los mandos de la calefacción.

**5.3.3** Cuando la velocidad de destilación haya descendido hasta unas 10 gotas por minuto, se sube la temperatura del baño de aceite hasta alcanzar, entre unos 20 y 30 minutos, los 175 °C, o 100 °C por encima de la del punto de ablandamiento supuesto para el asfalto recuperado, si ésta es mayor.

**Nota 7:** Si se forma espuma durante esta parte de la destilación, puede recurrirse a disminuir su velocidad bajando algo la temperatura. Es recomendable también agitar la muestra, para lo que se debe montar un agitador de varilla en el lugar del tubo de alimentación del gas. En este caso, una vez terminada esta parte de la destilación, habría que sustituir de nuevo el agitador por el tubo para el gas, cerciorándose de la impermeabilidad de este cambio.

**5.3.4** Finalmente, cuando la velocidad de destilación se reduzca a 3 a 4 gotas por minuto durante cinco minutos seguidos, se ajusta la altura del baño hasta que el nivel del aceite esté entre 10 y 20 mm por encima de la solución en el matraz. Durante la destilación se habrá ido retirando periódicamente todo el disolvente destilado, no debiendo quedar en este instante ninguna cantidad en el matraz colector.

**5.3.5** A continuación se abre la válvula de dióxido de carbono y se inicia el paso del gas a través del residuo del matraz, a razón de 10 cm<sup>3</sup> por minuto. Simultáneamente, se va reduciendo la presión en el interior del aparato hasta alcanzar, en un tiempo de entre 10 y 15 minutos, el vacío prescrito de 20 kPa, actuando al mismo tiempo sobre la válvula de regulación del gas para mantener el caudal constante de 10 cm<sup>3</sup> por minuto. Estas condiciones del baño, presión y caudal se mantienen así durante 45 minutos.

**Nota 8:** Cuando el ligante a recuperar contenga disolventes muy volátiles, como en ciertos ligantes fluidificados, no se pasa esta corriente de dióxido de carbono.

**5.3.6** Transcurridos los 45 minutos, se baja y aísla el baño de aceite del matraz y se cierra la válvula que separa el aparato del sistema de vacío, manteniendo la corriente de dióxido de carbono al mismo caudal hasta que se alcance en el aparato la presión atmosférica. Se espera hasta que deje de gotear la columna de fraccionamiento y se haya enfriado la muestra lo suficiente para que no se desprendan vapores. A continuación, se desmonta el matraz, se agita para mezclar bien su contenido y se tapa.

**5.3.7** Con el residuo así obtenido, se rellenan los moldes, anillos, etc., necesarios para los ensayos de caracterización posteriores.

## 6.- Resultados.

**6.1 Expresión de los resultados.** En los resultados de los ensayos que se realicen con los ligantes recuperados se debe indicar la norma de ensaye y método seguido para la recuperación. Igualmente, puede ser de interés acompañar estos resultados de todos aquellos datos sobre la mezcla original que puedan aportar alguna información.

## 7.- Precisión.

**7.1** Para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola realizados sobre un asfalto recuperado según este método, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

**7.1.1 Reproducibilidad.** Los ensayos realizados por duplicados por un mismo operador y equipo sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Penetración.....	5 unidades
Punto de reblandecimiento anillo y bola .....	2,5°C

**7.1.2 Reproducibilidad.** Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos sobre una misma muestra se consideran sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Penetración.....  $1,9 \sqrt{\bar{x}}$  unidades  
Punto de ablandamiento anillo y bola ..... 3,5 °C

Siendo  $\bar{x}$  el valor medio de dos resultados

**Nota 9:** No se han establecido criterios de precisión para otros ensayos.

## Método con el Destilador Rotatorio

### 8.- Principio del Método.

**8.1** El procedimiento de recuperación del ligante mediante el destilador rotatorio es de aplicación exclusiva a los ligantes asfálticos.

**8.2** En el ensaye, una solución del ligante en diclorometano de una dilución determinada y exenta de materia mineral, se concentra por destilación y a presión reducida en un matraz en forma de pera, inclinado y rotatorio alrededor de su eje, lo que favorece la velocidad de evaporación del disolvente a causa de la gran superficie que adquiere la solución en estas condiciones.

### 9.- Aparatos y Material Necesarios.

**9.1 Material para la preparación de la solución.** El material general de la disolución, filtración y centrifugación de la muestra es el mismo que se indica en los puntos 3.1, 3.2 y 3.3 de este método.

**9.2 Aparato de destilación.** Montado según el esquema de la Lámina 8.302.58.B, con todas sus conexiones mediante juntas esmeriladas y compuesto por las siguientes partes:

**9.2.1 Matraz de destilación.** De vidrio resistente al calor y en forma de pera, con una capacidad de 1.000 cc.

**9.2.2 Baño de Aceite.** Calentado eléctricamente y con termostato para una regulación de temperatura de hasta unos 180 °C y con precisión de  $\pm 1$  °C. El tipo de aceite será adecuado a las temperaturas alcanzadas en el ensaye.

**9.2.3 Mecanismo de rotación.** Formado por un motor eléctrico y las transmisiones necesarias para obtener velocidades de rotación del matraz hasta 10 rad/s (unas 100 rpm).

**9.2.4 Colector.** Un matraz de vidrio esférico de 1.000 cc de capacidad para la recolección de los destilados.

**9.2.5 Condensador.** De doble serpentín.

**9.3 Trompa de agua.** Capaz de conseguir una presión reducida en el aparato de hasta 8 kPa (unos 60 mm de Hg)

**Nota 10:** Puede utilizarse también una bomba de vacío (ver 4.4.2).

**9.4 Manómetro de mercurio.** En U, del tipo indicado en la Lámina 8.302.58.B, y con válvula de cierre de separación del sistema de vacío.

**9.5 Disolvente.** Diclorometano, según el punto 4.5.

## 10.- Procedimiento.

**10.1 Preparación de la muestra.** La muestra de solución de ligante para el ensaye se prepara siguiendo los puntos 5.1.1 y 5.1.2, aunque con una concentración de unos 150 g de betún en 1.000 ml de diclorometano.

**10.2 Montaje del Aparato de Destilación.** El conjunto del aparato de destilación se monta según el esquema que se indica en la Lámina 8.302.58.B. El recipiente que contiene la muestra de solución se une mediante un tubo de goma al extremo del condensador, regulándose la admisión periódica de la muestra en el matraz mediante la correspondiente válvula de admisión situada en dicho extremo. El conjunto del aparato de destilación se fija a una varilla soporte vertical mediante una pieza que permita, además, regular su inclinación con la horizontal.

**10.3 Comprobación de la Impermeabilidad al Aire del Aparato de Destilación.** Una vez montado el conjunto de destilación con todas sus uniones perfectamente ajustadas y cerrada la válvula de admisión, se hace girar el matraz de destilación a la velocidad de 7,8 rad/s (unas 75 rpm). Se pone en funcionamiento el sistema de vacío y se reduce gradualmente la presión a 8 kPa (unos 60 mm de Hg).

**10.3.1** En estas condiciones, se aísla el aparato de destilación del sistema de vacío cerrando la llave correspondiente del manómetro y se comprueba durante 5 minutos que no se produce aumento de presión en el manómetro.

**10.3.2** En caso contrario, se vuelven a revisar todas y cada una de las uniones y válvulas del aparato y se realiza una nueva comprobación de impermeabilidad.

### 10.4 Destilación de la Muestra.

**10.4.1** Se introducen en el matraz de destilación unos 350 cc de disolución preparada según 10.1 y se sumerge el matraz en el aceite del baño hasta enrasar con el nivel de la muestra.

**10.4.2** Se inicia entonces una primera fase de la destilación, calentando el baño de aceite a la temperatura de  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , con una velocidad de rotación del matraz de 7,8 rad/s (75 rpm) y una presión reducida de 50 kPa (373 mm Hg).

**10.4.3** Se continúa en estas condiciones la destilación hasta que el volumen de muestra en el matraz se reduzca a unos 100 cc. Se abre entonces con cuidado la llave de admisión de muestra y se deja que ésta fluya por aspiración al matraz hasta que se reponga el nivel inicial. Se repite esta operación las veces necesarias hasta agotar la totalidad de la muestra en el recipiente.

**10.4.4.** Cuando en las condiciones de trabajo fijadas en esta primera fase ( $40^\circ\text{C}$  y 40 kPa) se observe que ya no se produce en la práctica destilación de disolvente, se comienza a elevar progresivamente la temperatura del baño hasta los  $160^\circ\text{C}$ . A continuación se reduce progresivamente la presión hasta llegar a 8 kPa (unos 60 mm Hg). Esta operación debe realizarse en unos 20 minutos.

**10.4.5.** La destilación se continúa en estas nuevas condiciones de presión y temperatura durante 15 minutos, debiendo comprobarse al final de este tiempo mediante una iluminación apropiada que ya no se forman burbujas en la muestra. En caso contrario, continuar la destilación durante cinco minutos más y si al final de este período persisten las burbujas hay que repetir todo el ensaye.

**10.4.6.** Terminada la destilación, se saca el matraz del baño de aceite y se restablece en el aparato la presión atmosférica. Se desmonta el matraz y se tapa, pudiendo mantenerlo en caliente por un poco de tiempo a la temperatura de vertido, hasta llenar los moldes, cajas o anillos necesarios para la realización de los ensayos de caracterización posteriores.

**10.5 Comprobación del Procedimiento Operatorio (prueba en blanco del aparato).** Como comprobación del estado del aparato de destilación, se disuelven 100 g de un betún de penetración conocida, en 600 g de diclorometano y se realiza, con la disolución así obtenida, la recuperación, siguiendo el procedimiento completo descrito en este método. En el betún recuperado, la media de, al menos, dos ensayos de penetración, no debe diferir de la penetración conocida en más de cinco unidades. Este tipo de pruebas en blanco puede servir igualmente para el adiestramiento del personal operario.

**Nota 11:** Si se quiere comprobar la eliminación total del disolvente se puede realizar un espectro infrarrojo sobre una pequeña muestra de ligante recuperado, preparando una película fina de ligante entre dos cristales de cloruro sódico y observando las bandas características del diclorometano ( $1.264 \text{ cm}^{-1}$  y  $740 \text{ cm}^{-1}$ ).

## 11.- Resultados.

Para la expresión de los resultados siguiendo este método, se seguirá lo indicado en 6.1.

## 12. Precisión.

**12.1** Para juzgar la aceptabilidad del resultado del ensaye de penetración sobre un ligante recuperado según este método, se seguirán los siguientes criterios (establecidos provisionalmente):

**12.1.1 Repetibilidad.** Los ensayos realizados por duplicados por un mismo operador y equipo sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

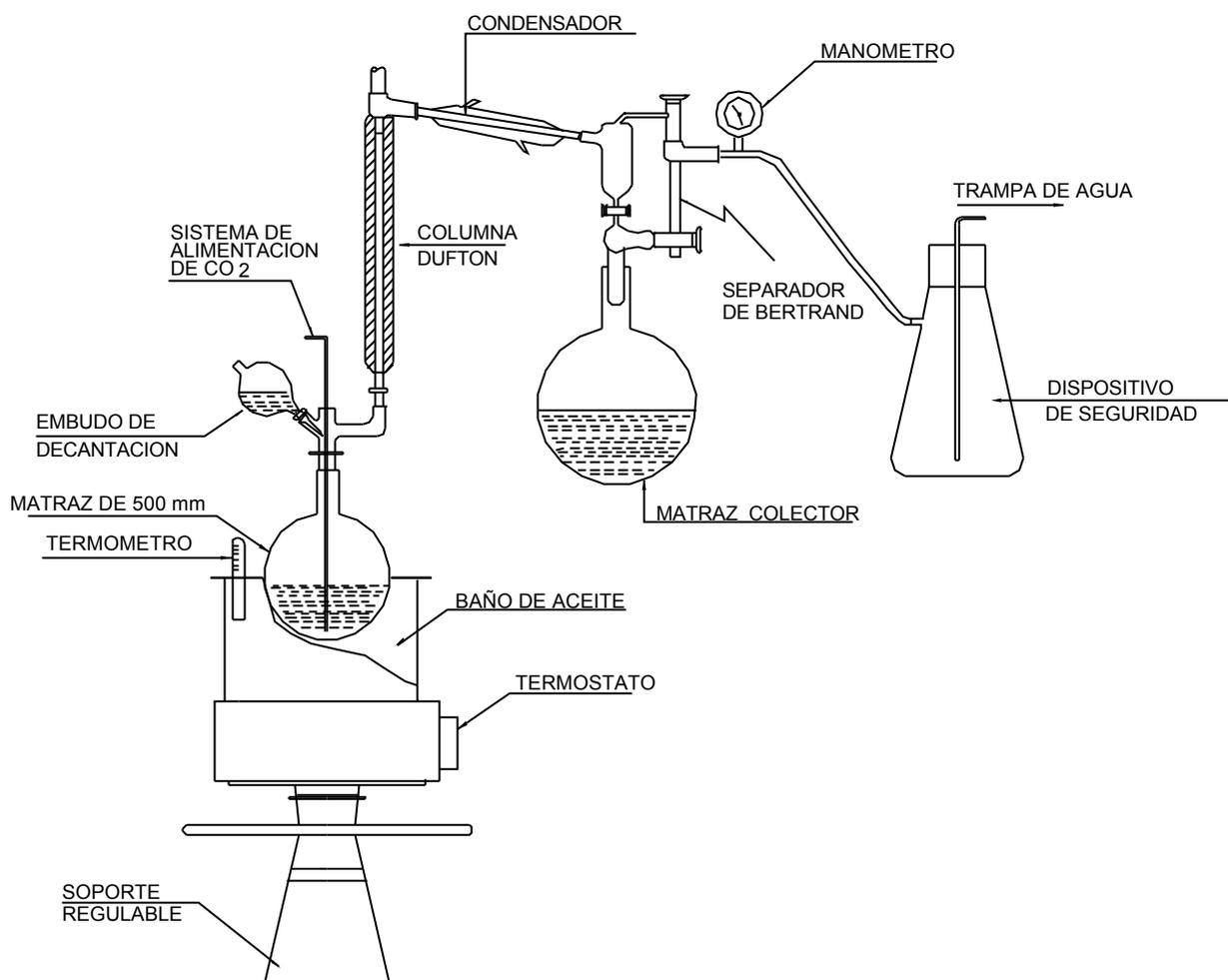
Penetración..... 4 unidades

**12.1.2 Reproducibilidad.** Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos sobre una misma muestra se consideran sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

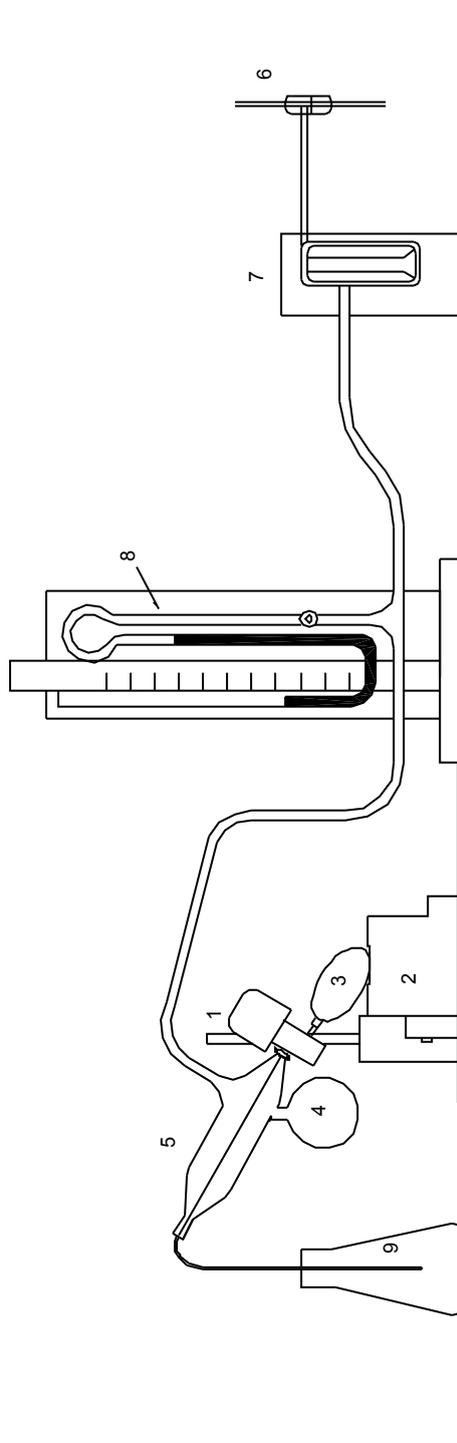
Penetración.....  $1,9 \sqrt{\bar{x}}$  unidades

siendo  $\bar{x}$  el valor medio de dos resultados

**Nota 12:** Los valores anteriores de la precisión se han determinado provisionalmente mediante ensayos de recuperación y penetración entre 14 laboratorios de 10 países, bajo la dirección del Grupo de Trabajo 56 MHM de la Rilem, en 1986.



- |     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| 1.- | MECANISMO DE ROTACION                 |
| 2.- | BAÑO TERMOSTATICO DE ACEITE           |
| 3.- | MATRAZ DE DESTRACION                  |
| 4.- | MATRAZ COLECTOR                       |
| 5.- | CONDENSADOR                           |
| 6.- | TROMPA DE AGUA                        |
| 7.- | REGULADOR DE PRESION                  |
| 8.- | MANOMETRO                             |
| 9.- | MUESTRA CON LA<br>SOLUCION DE LIGANTE |





## **8.302.59 ASFALTO: METODO DE ENSAYE DE ADHERENCIA ENTRE AGREGADOS PETREOS Y LIGANTE ASFALTICO, EMPLEANDO EL METODO DEL HERVIDO \***

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar la adherencia del agregado con el ligante asfáltico de las mezclas asfálticas en frío predosificada para bacheo, evalúa en forma rápida la susceptibilidad al agua en una mezcla sin compactar. Se aprecia visualmente el desprendimiento de ligante luego de su hervido en agua destilada. El procedimiento puede también emplearse para evaluar la efectividad de aditivos mejoradores de adherencia incorporados a mezclas susceptibles a la acción del agua.

\* El método 8.302.59 es una adaptación de la norma ASTM 3625/96

### **2.- Aparatos y Materiales**

- Termómetro ASTM 7C
- Vasos Precipitados de 1.000 ml de capacidad o recipientes metálicos adecuados de similares dimensiones, aptos para ser calentados.
- Mechero o calentador eléctrico
- Soporte para el Vaso Precipitado
- Cronómetro

### **3.- Procedimiento.**

**3.1.-** Llenar el vaso precipitado de 1.000 ml hasta la mitad con agua destilada y calentar hasta que comience a hervir.

**3.2.-** Agregar 250 g de mezcla asfáltica al agua hirviendo. Como se producirá temporalmente el enfriamiento del agua, se debe aplicar calor de tal modo que el agua retome el hervor en el lapso de 2 a 3 minutos después de agregada la mezcla.

**3.3.-** Dejar hervir por 10 minutos  $\pm$  15 segundos sin manipular la mezcla.

**3.4.-** Retirar el vaso de la fuente de calor.

**3.5.-** Luego del Hervido retirar con una toalla de papel absorbente cualquier desprendimiento de asfalto que sobrenade la superficie del agua del vaso de precipitado.

**3.6.-** Enfriar a temperatura ambiente, escurrir el agua del vaso de precipitado y vaciar la mezcla húmeda sobre una toalla de papel absorbente y dejar secar.

**Nota : Muestra Patrón .** Para efecto de comparación se deberá colocar en un segundo vaso de precipitado una cantidad similar de mezcla, cubierta con agua destilada sin calentar por 10 minutos, decantar el agua y vaciar la mezcla sobre una toalla blanca de papel absorbente.

**4.- Resultado.** Se informará el grado de desprendimiento en forma estimativa. El porcentaje de asfalto retenido después del hervido, debe basarse en la comparación con la muestra patrón.

## 8.302.60 ASFALTO: METODO DE ENSAYE DE COHESION DE MEZCLA EN FRIO PARA BACHEO\*

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar la cohesión de las mezclas asfálticas en frío predosificada para bacheo.

\* El Método 8.302.60 es una adaptación de la norma AASHTO TP 44/96

### 2.- Aparatos.

Tamiz de abertura 25 mm y diámetro de 305 mm

### 3.- Preparación de las Muestras.

**3.1.-** Cuartear la mezcla para bacheo en la cantidad suficiente para confeccionar 3 probetas Marshall de altura aproximadamente 65 mm (La cantidad de muestra por probeta es aproximadamente  $800 \pm 50$  g)

### 4.- Procedimiento de Ensaye de Cohesión.

**4.1.-** Depositar la mezcla en un contenedor cerrado.

**4.2.-** Ponerlas en el refrigerador a  $4 \pm 1$  °C durante 17 horas.

**4.3.-** Retirar la mezcla enfriada del refrigerador y ponerla en un molde Marshall, previamente acondicionado a  $4 \pm 1$  °C, y compactar con 5 golpes por cara.

**4.4.-** Después de compactar acondicionar la probeta sin desmoldar por 30 min. en el refrigerador a  $4 \pm 1$  °C, junto al tamiz.

**4.5.-** Desmoldar la probeta inmediatamente registrando la masa como  $M_0$  = Masa inicial.

**4.6.-** Poner el tamiz previamente acondicionado en una mesa tal que este pueda rodar libremente. Poner la probeta de tal modo que la circunferencia de esta coincida con la circunferencia interior del tamiz. Esta posición permitirá a la probeta rodar libremente en la circunferencia interior del tamiz cuando el tamiz rueda sobre la mesa.

**4.7.-** Poner la tapa al tamiz. Asegurarse que quede firmemente puesta, de modo que no se pierda material a menos que pase a través del tamiz.

**4.8.-** Marcar la posición del tamiz de 90° y 135° en cada lado del eje circunferencial que está en contacto con la mesa.

**4.9.-** Hacer rodar el tamiz con la probeta al interior, adelante y atrás 20 ciclos, demorando  $1 \pm 0.5$  s por cada uno de los ciclos.

Cada ciclo consiste en hacer rodar el tamiz primero en sentido de los punteros del reloj, desde la posición original hasta  $112,5 \pm 22.5^\circ$ , regresar contra los punteros del reloj a la posición inicial y continuar contra los punteros del reloj hasta  $112,5 \pm 22.5^\circ$ , luego vuelva a la posición inicial, y comienza inmediatamente el nuevo ciclo.

**4.10.-** Poner el tamiz en la posición normal de tamizado (con la probeta aún dentro y la tapa cerrada), y dejar que salga cualquier trozo de la probeta a través de la malla del tamiz. Mantener el tamiz en esta posición por  $10 \pm 2$  s, dejando pasar cualquier trozo de la probeta menor que 25 mm

**4.11.-** Retirar la probeta y pesar, aproximando a 1 g y registrar el peso como  $M_{ret}$  = Masa Retenida.

## 5.- Cálculos

$$C = \frac{M_{\text{ret}}}{M_o} \cdot 100$$

El valor de cohesión es el promedio de los tres valores de "C" obtenidos.

## 8.302.61 ASFALTO: METODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD RETENIDA MARSHALL DE MEZCLAS EN FRIO PARA BACHEO

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este procedimiento describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas cargadas sobre su manto lateral usando el aparato Marshall.

### 2.- Referencia.

- Método 8.302.40      Asfalto: Método para determinar la resistencia a la Deformación Plástica de mezclas asfálticas utilizando el Aparato Marshall
- Método 8.302.38      Asfalto: Método para determinar la densidad geométrica de mezclas asfálticas compactadas. Método C.

### 3.- Procedimiento de Ensaye.

**3.1.-** Acondicionar durante 17 horas dentro de un horno precalentado a 135 °C la cantidad de muestra necesaria para confeccionar 6 probetas tipo Marshall de 65 mm de altura. Este acondicionamiento simula así la pérdida de solvente o envejecimiento si corresponde.

**3.2.-** Inmediatamente después de sacar las muestras del horno se deben preparar probetas Marshall para compactar.

**3.3.-** La compactación se realizará a  $135 \pm 5$  °C aplicando 75 golpes por cara.

**3.4.-** El molde con la probeta compactada se deja reposar hasta enfriar.

**3.5.-** Se repite igual procedimiento con las 5 muestras restantes.

**3.6.-** Una vez desmoldadas las probetas se registran sus alturas y densidades geométricas.

**3.7.-** Se acondicionan tres probetas de las seis compactadas en un baño de agua a  $60 \pm 1$  °C durante 30 minutos. (Estabilidad Marshall)

**3.8.-** Las tres probetas restantes deberán ser acondicionadas en un baño de agua a  $25 \pm 1$  °C durante 96 horas. (Estabilidad Saturada)

**3.9** Antes de medir la Estabilidad Saturada las probetas se deben acondicionar en un baño de agua a  $60 \pm 1$  °C durante 30 minutos.

3.10.- Medir la Estabilidad Marshall y Estabilidad Saturada.

### 4.- Informe

Calcular la Estabilidad Retenida como:

$$\text{Estabilidad Retenida \%} = \frac{\text{Estabilidad Saturada} \times 100}{\text{Estabilidad Marshall}}$$

Informar :

- a) La Estabilidad Retenida en %.
- b) La Estabilidad Marshall en N.

## **8.302.62 ASFALTO: METODO DE ENSAYE DE TRABAJABILIDAD DE MEZCLAS EN FRIO PARA BACHEO\***

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este procedimiento describe un método para determinar la trabajabilidad de mezclas asfálticas en frío para bacheo.

\* El Método 8.302.62 es una adaptación de la norma AASHTO TP-43/96

### **2.- Equipos especiales**

**2.1 Penetrómetro de bolsillo**, con un diámetro de  $6,5 \pm 1$  mm y un rango de 0 a  $4,5 \text{ kg/cm}^2$

**2.2 Adaptador de penetrómetro**, que incrementa el diámetro del penetrómetro a  $9,5 \pm 0.1$  mm.

**2.3 Caja de ensaye de trabajabilidad**, de 102 mm por lado, y con un agujero de 10 mm de diámetro en el centro de cada lado en dos caras opuestas.

**2.4 Refrigerador** : capaz de mantener la temperatura en  $4 \pm 1$  °C

### **3.- Procedimiento de Ensaye.**

**3.1** Cuartear la cantidad suficiente para preparar 3 muestras.

**3.2** Esparcir la mezcla sobre un contenedor cerrado.

**3.3** Colocar el contenedor con la muestra en el refrigerador y dejar que esta se estabilice a una temperatura de  $4 \pm 1$  °C. ( Durante 17 horas)

**3.4** Sacar del refrigerador la muestra enfriada y depositarla en condición suelta en la caja de trabajabilidad previamente acondicionada a la misma temperatura. No realizar esfuerzo por compactar la mezcla en la caja. Dejar por 30 minutos la caja con la mezcla en el refrigerador.

**3.5** Presionar el penetrómetro con el adaptador instalado a través del orificio en un lado de la caja, en la cual se encuentra la muestra, utilizando una velocidad de penetración de  $12 \pm 5$  mm/s, registrar la máxima resistencia.

**3.6** Repetir el punto 3.5 presionando el penetrómetro con el adaptador instalado a través del orificio en el lado opuesto de la caja, registrar la máxima resistencia.

**3.7** Ensayar las muestras restantes de la misma forma.

**3.8** Calcular el promedio de los valores de resistencia del penetrómetro, informando el valor de resistencia en  $\text{kg/cm}^2$ .

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.400 HORMIGONES**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE**

**CAPITULO 8.400 – HORMIGONES**

**INTRODUCCION**

**SECCION 8.401 ESPECIFICACIONES DE HORMIGONES.**

- 8.401.1 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA EL AGUA DE AMASADO**
- 8.401.2 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA LOS COMPUESTOS LIQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANAS DE CURADO**

**SECCION 8.402 METODOS PARA HORMIGONES.**

- 8.402.1 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO**
- 8.402.2 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE DEL AGUA DE AMASADO**
- 8.402.3 HORMIGONES: METODOS DE ENSAYE PARA COMPUESTOS LIQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANA DE CURADO**
- 8.402.4 HORMIGONES: METODO DE MUESTREO DEL AGUA DE AMASADO**
- 8.402.5 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGON FRESCO**
- 8.402.6 HORMIGONES: METODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGON FRESCO**
- 8.402.7 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS**
- 8.402.8 HORMIGONES: METODO DE EXTRACCION Y PREPARACION PARA ENSAYE DE TESTIGOS CILINDRICOS**
- 8.402.9 HORMIGONES: METODO PARA CONFECCIONAR Y CURAR EN OBRA PROBETAS DE HORMIGON FRESCO**
- 8.402.10 HORMIGONES: METODO PARA REFRENTAR PROBETAS**
- 8.402.11 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA COMPRESION DE PROBETAS CUBICAS Y CILINDRICAS**
- 8.402.12 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA TRACCION POR FLEXION DE PROBETAS PRISMATICAS**
- 8.402.13 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA TRACCION POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILINDRICAS**
- 8.402.14 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE ESCLEROMETRICO EN EL HORMIGON ENDURECIDO.**
- 8.402.15 HORMIGONES: METODO DE PREPARACION DE MEZCLAS DE PRUEBA EN LABORATORIO**



## **MANUAL DE CARRETERAS**

### **VOLUMEN 8**

#### **ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

#### **CAPITULO 8.400 – HORMIGONES**

#### **INTRODUCCION**

El Capítulo 8.400 Hormigones, contiene las exigencias a que deben ajustarse el agua de amasado y los compuestos que forman membranas de curado y describe los procedimientos que se han definido para determinar las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Al igual que otros Capítulos de este Manual, éste se presenta dividido en dos partes; la primera, Especificaciones, está dedicada a establecer requisitos, en tanto que en la segunda se incluyen los procedimientos para realizar los ensayos propiamente tales.

Las Especificaciones se refieren a los requisitos exigidos al agua de amasado para preparar hormigones y a los compuestos líquidos que forman membranas de curado; se individualizan como los números 8.401.1 y 8.401.2, respectivamente.

Los procedimientos para ensayar los materiales están compuestos por 15 Métodos, numerados correlativamente desde el 8.402.1 al 8.402.15. La lista se presenta siguiendo la numeración correlativa, sin separaciones, sin embargo, ella guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Los primeros 4 métodos del listado (8.401.1 al 8.401.4).se refieren a los ensayos que se realizan con el propósito de establecer las propiedades de los materiales no pétreos que componen un hormigón (cemento hidráulico y agua) y de los productos destinados al curado.

Se incluyen 2 métodos, que aún cuando no son correlativos, tienen por objetivo común definir procedimientos para diseñar y preparar hormigones; son los métodos 8.402.5 y 8.402.15. En el primero se describe un procedimiento para determinar rendimientos de hormigones, en tanto que el segundo, indica como debe prepararse un hormigón de prueba en el laboratorio.

Los procedimientos enumerados desde 8.402.6 al 8.402.9, están destinados al control de calidad del hormigón fresco y endurecido. Los Métodos se refieren a la extracción de muestras en hormigones frescos y endurecidos, a la preparación de muestras y a los controles de calidad.

El resto de los métodos, incluye 5 procedimientos (8.402.10 al 8.402.14), que están destinados a describir los ensayos a efectuar en el hormigón endurecido.



## CAPITULO 8.400 HORMIGONES

### SECCION 8.401 ESPECIFICACIONES DE HORMIGONES

#### 8.401.1 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA EL AGUA DE AMASADO\*

**1. Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación establece los requisitos que debe cumplir el agua que se utilice en el amasado de morteros y hormigones.

**Nota:** El agua que cumpla con la presente especificación puede también utilizarse para curar morteros y hormigones, y para el lavado de áridos.

\* La Especificación 8.401.1 es una adaptación de la norma NCh 1498 of. 82.

#### 2. Requisitos.

**2.1 Agua Potable.** El agua potable de la red puede emplearse como agua de amasado siempre que no se contamine antes de usarla.

**2.2 Agua de Mar.** Se puede emplear agua de mar solamente en hormigones simples de resistencia característica a la compresión inferior a 15 MPa (153 kgf/cm<sup>2</sup>) y siempre que no exista otra fuente de agua disponible en la zona.

**2.3 Agua con Contenido de Azúcares.** No se debe emplear agua que contenga azúcares como sacarosa, glucosa o similares.

**2.4 Agua de Otras Fuentes.** Puede emplearse agua de otro origen o procedencia o cuya calidad se desconozca, siempre que cumpla con los requisitos químicos básicos indicados en la Tabla 8.401.1.A. Si el contenido de sólidos disueltos resulta mayor que 5.000 mg/l, el agua debe cumplir además con los requisitos químicos complementarios que se indican en la Tabla 8.401.1.B.

**2.5 Casos Especiales.** En casos particulares pueden establecerse otros requisitos químicos especiales de acuerdo a las exigencias del hormigón o a las características de la obra.

**TABLA 8.401.1.A  
REQUISITOS QUIMICOS BASICOS**

Requisitos Químicos	Unidad	Valores Límites	Ensaye
Valor del pH <sup>(1)</sup>	-	6 a 9,2	Ver 3 de 8.402.2
Sólidos en suspensión	mg/l	≤ 2.000	NCh 416
Sólidos disueltos	mg/l	≤ 15.000	NCh 416
Materias orgánicas (Como oxígeno consumido)	mg/l	≤ 5	Ver 4 de 8.402.2

**Nota 1:** Se recomienda determinar el pH en el mismo lugar del muestreo o a la brevedad posible después de tomar la muestra.

**TABLA 8.401.1.B**  
**REQUISITOS QUIMICOS COMPLEMENTARIOS.**

<b>Requisitos Químicos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores Límites</b>	<b>Ensaye</b>
Cloruros <sup>(2)</sup>			
- En hormigón armado	kg Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> hormigón	1,200	Ver 5 de 8.402.2
- En hormigón tensado	kg Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> hormigón	0,250	Ver 5 de 8.402.2
Sulfatos solubles en agua <sup>(3)</sup>			
- en todo hormigón	kg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /m <sup>3</sup> hormigón	0,600	NCh 420

- Nota 2:** El contenido de cloruro en el hormigón corresponde al total aportado por áridos, cemento, agua y aditivos  
**Nota 3:** El contenido de sulfatos solubles en el hormigón corresponde al total aportado por áridos, agua y aditivos.

## **8.401.2 HORMIGONES: ESPECIFICACIONES PARA LOS COMPUESTOS LIQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANAS DE CURADO\***

**1. Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define los requisitos para los compuestos líquidos formadores de membranas o láminas impermeables que se utilizan para curar el hormigón, en superficies verticales u horizontales. Los compuestos a que se refiere esta especificación son adecuados para curar el hormigón fresco, pero también pueden usarse para curar el hormigón después que se retiran los moldes o después de un curado húmedo inicial.

\* La Especificación 8.401.2 es una adaptación de la norma AASHTO M 148.

### **2. Clasificación.**

**2.1 Tipos de Compuestos.** Los compuestos se clasifican en tres tipos:

- a) Tipo 1 : Claros o traslúcidos, sin tinte.
- b) Tipo 1D : Claros o traslúcidos, con tinte fugitivo.
- c) Tipo 2 : Con pigmentación blanca.

**2.2 Clases de Vehículos.** Los vehículos se clasifican en dos clases:

- a) Clase A: Aptos para recibir cualquier material sólido.
- b) Clase B: Aptos para recibir sólo material resinoso.

El tipo y clase de membrana por usar para curar el hormigón de pavimentos, depende de la zona en que se localiza la obra y la época del año en que se realice el trabajo; la selección se regirá por lo estipulado en la Tabla 8.401.2.A.

### **3.- Características Generales.**

**3.1** Los compuestos claros o traslúcidos deben ser incoloros o de color muy suave. Si el compuesto contiene un tinte fugitivo, será fácil de distinguir sobre la superficie del hormigón por lo menos durante cuatro horas después de su aplicación, pero no se advertirá dentro de los siete días después de la aplicación si está expuesto directamente al sol.

**3.2** Los compuestos de pigmentación blanca estarán constituidos de pigmentos blancos finamente molidos y de un vehículo, mezclados para uso inmediato sin alteración. El compuesto presentará un aspecto blanco homogéneo cuando se aplique uniformemente a una superficie nueva de hormigón con la cantidad especificada para su aplicación.

**TABLA 8.401.2.A**  
**TIPO Y CLASE DE MEMBRANA PARA CURAR HORMIGON DE PAVIMENTOS**

ZONA		MEMBRANA SEGUN EPOCA			
DESDE	HASTA	CLASE B		CLASE A	
		TIPO 2	TIPO 1D	TIPO 2	TIPO 1D
Arica	Caleta Los Hornos	Enero a Diciembre	-	-	-
Caleta Los Hornos	Cuesta El Melón	Enero a Diciembre	-	Enero a Diciembre	-
Cuesta El Melón	Río Bío Bío	Octubre a Marzo	Abril a Septiembre	-	Abril a Septiembre
Río Bío Bío	Chiloé	Diciembre a Febrero	Marzo a Noviembre	Diciembre a Febrero	Marzo a Noviembre
Chiloé	Tierra del Fuego	-	Enero a Diciembre	-	Marzo a Septiembre

**Nota:** Esta tabla establece una normativa general, pero para condiciones ambientales especiales, como microclimas, puede estipularse el uso de una membrana de clase y tipo específico y con la dosificación por emplear.

**3.3** Los compuestos líquidos formadores de membrana deberán tener una consistencia adecuada para que puedan ser aplicados fácilmente por rociado (o escobillado o rodillado cuando se especifique) para formar una capa uniforme, a temperaturas sobre 4°C.

**Nota 1:** Para una aplicación uniforme en terreno en superficies verticales de hormigón, el rango de aplicación especificado debe lograrse con dos manos, aplicadas con un intervalo de 1 h, aproximadamente.

**3.4** El compuesto debe adherirse al hormigón fresco cuando alcance un grado de endurecimiento o fraguado suficiente para resistir la aplicación del compuesto; debe formarse una película continua cuando se aplica en la cantidad especificada. Una vez seca, la película deberá ser continua, flexible y sin grietas visibles o agujeros, y permanecer como una película intacta por lo menos durante siete días después de aplicada. Los compuestos líquidos formadores de membranas no deben reaccionar deletéreamente con el hormigón. Ver Método de ensaye 8.402.3.

**3.5** Los productos para curar podrán almacenarse por lo menos seis meses sin deteriorarse, excepto los compuestos de emulsión acuosa, que no resisten el congelamiento. Los compuestos pigmentados blancos (tipo 2) no deben sedimentar excesivamente o aglutinarse en el envase, y deben ser capaces de mezclarse a una consistencia uniforme con un batido moderado o una agitación con aire comprimido. Cuando se espera utilizarlo después de un plazo prolongado, deberán realizarse los ensayos que para tal objetivo se indican en el Método 8.402.3

**3.6** La composición e ingredientes de los compuestos líquidos de curado no tienen restricciones, excepto las que se especifican a continuación.

- a) La porción volátil del compuesto será un material no tóxico ni peligrosamente inflamable. Los ingredientes volátiles deberán cumplir con los requisitos establecidos para no contaminar el aire.
- b) La porción no volátil de los vehículos de la Clase A puede contener ceras naturales o de petróleo. La porción no volátil de los vehículos de la Clase B deberá ser en su totalidad de material resinoso.

**4.- Retención de Agua.** Los compuestos líquidos formadores de membrana, cuando se ensayan como se indica en el Método 8.402.3, deben limitar la pérdida de agua a no más de 0,65 kg/m<sup>2</sup> de superficie en 72 h.

**5.- Tiempo de Secado.** Los compuestos formadores de membrana, cuando se ensayan como se especifica en el Método 8.402.3, secarán al tacto en no más de 4 h. Después de 12 h, el compuesto no debe desprenderse del hormigón cuando se camina sobre él, ni tampoco dar una superficie resbaladiza al hormigón.

## SECCION 8.402 METODOS PARA HORMIGONES.

### 8.402.1 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO\*

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define el procedimiento para determinar la densidad del cemento hidráulico. Se aplica a los cementos hidráulicos destinados a la confección de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y mezclas estabilizadas con cemento.

\* El Método 8.402.1 es una adaptación de la norma AASHTO T-133.

#### 2.- Aparatos.

**2.1 Matraz Le Chatelier.** Matraz cuya sección transversal es circular y que debe tener la forma y dimensiones esencialmente de acuerdo con lo que se indica en la Lámina 8.402.1.A (**Nota 1**). Las exigencias en la tolerancia, inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de la graduación deben observarse en forma estricta. Debe existir un espacio de a lo menos 10 mm entre la marca de graduación más alta y el punto más bajo del esmerilado para el tapón de vidrio.

Debe estar construido con vidrio de la mejor calidad, transparente y sin estrías, químicamente resistente, con una histéresis termal pequeña y de un espesor suficiente para asegurar una resistencia razonable al rompimiento; debe estar totalmente recocido antes de graduarse.

Debe tener el cuello graduado desde 0 a 1 cm<sup>3</sup> y desde 18 a 24 cm<sup>3</sup> en graduaciones de 0,1 cm<sup>3</sup>. El error admisible en cualquiera de las capacidades indicadas no debe ser mayor que 0,05 cm<sup>3</sup>.

Cada matraz debe tener un número de identificación permanente; el tapón, si no es esmerilado e intercambiable, debe tener el mismo número. Las partes intercambiables de vidrio esmerilado deben marcarse en ambos elementos con el símbolo normal §, seguido por la designación del tamaño. Debe indicarse la temperatura normal y la unidad de capacidad debe mostrar las letras cm<sup>3</sup> colocadas sobre la marca de graduación superior.

**2.2 Solvente.** Para determinar la densidad se debe usar kerosene o nafta libre de agua, que tenga una densidad no menor que 0,73 g/cm<sup>3</sup> a 23 °C.

**2.3 Uso de Otros Aparatos.** Se podrán utilizar equipos o métodos alternativos para determinar la densidad siempre que un solo operador pueda obtener diferencias no mayores que ± 0,03 g/cm<sup>3</sup> respecto de los resultados obtenidos usando el método del matraz.

**2.4 Baño de Temperatura Constante.** Es un baño de agua que se mantiene a temperatura constante a la de calibración del matraz. La temperatura del baño no deberá variar en más de 0,2° C.

**Nota 1:** Con el diseño se trata de asegurar un drenaje completo del matraz cuando se vacía, estabilidad en superficie lisa, así como exactitud y precisión de lectura.

#### 3.- Procedimiento de Ensaye.

**3.1** Determine la densidad del cemento tal como se recibe.

**3.2** Llene el matraz (**Nota 2**) con cualquiera de los líquidos especificados en 2.2, hasta un punto sobre el vástago entre las marcas de 0 y 1 ml. Seque el interior del matraz sobre el nivel del líquido si es necesario, sumerja el matraz en un baño de agua (**Nota 3**) de acuerdo con 3.4 y registre la primera lectura.

**Nota 2:** Es recomendable usar una placa de goma sobre la mesa al llenar o agitar el matraz.

**Nota 3:** Antes de adicionar el cemento al matraz es útil colocar un anillo de plomo con holgura alrededor del vástago del matraz, de modo de mantenerlo en posición vertical en el baño de agua, o se puede sujetar con una abrazadera de bureta.

**3.3** Introduzca una cantidad de cemento (Nota 2), previamente pesada (aproximadamente 64 g), en pequeños incrementos a la misma temperatura del líquido. Tenga cuidado para evitar salpicaduras y asegúrese que el cemento no se adhiera en las paredes interiores del frasco sobre el líquido. Para acelerar la entrada del cemento en el matraz y prevenir que se adhiera en el cuello, se puede utilizar un aparato vibratorio. Después de introducido todo el cemento, coloque el tapón en el matraz y gírelo en forma inclinada (Nota 2) o agite suavemente en un círculo horizontal, de modo de liberar el aire atrapado en el cemento; continúe hasta que no suban burbujas de aire a la superficie del líquido. Si se ha adicionado la cantidad de cemento apropiada, al final el nivel del líquido deberá quedar en algún punto de la graduación superior. Tome la lectura final después que haya sumergido el frasco en agua de acuerdo con 3.4.

**3.4** Sumerja el frasco en un baño de agua a temperatura constante por un período suficiente, con el objeto de evitar variaciones en la temperatura del matraz mayores que 0,2° C entre las lecturas inicial y final.

#### 4.- Cálculos.

**4.1** La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen desplazado por la masa de cemento usada en el ensaye.

**4.2** Calcule la densidad del cemento,  $\rho_s$ , como:

$$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{masa del cemento (g)}}{\text{volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

**Nota 4 :** Calcule la densidad del cemento,  $\rho_s$ , con tres decimales; y aproxime a 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

**Nota 5:** De acuerdo con la dosificación y control de mezclas de hormigón, puede ser más útil expresar la densidad como gravedad específica, siendo este último un número adimensional. Calcule la gravedad específica como:

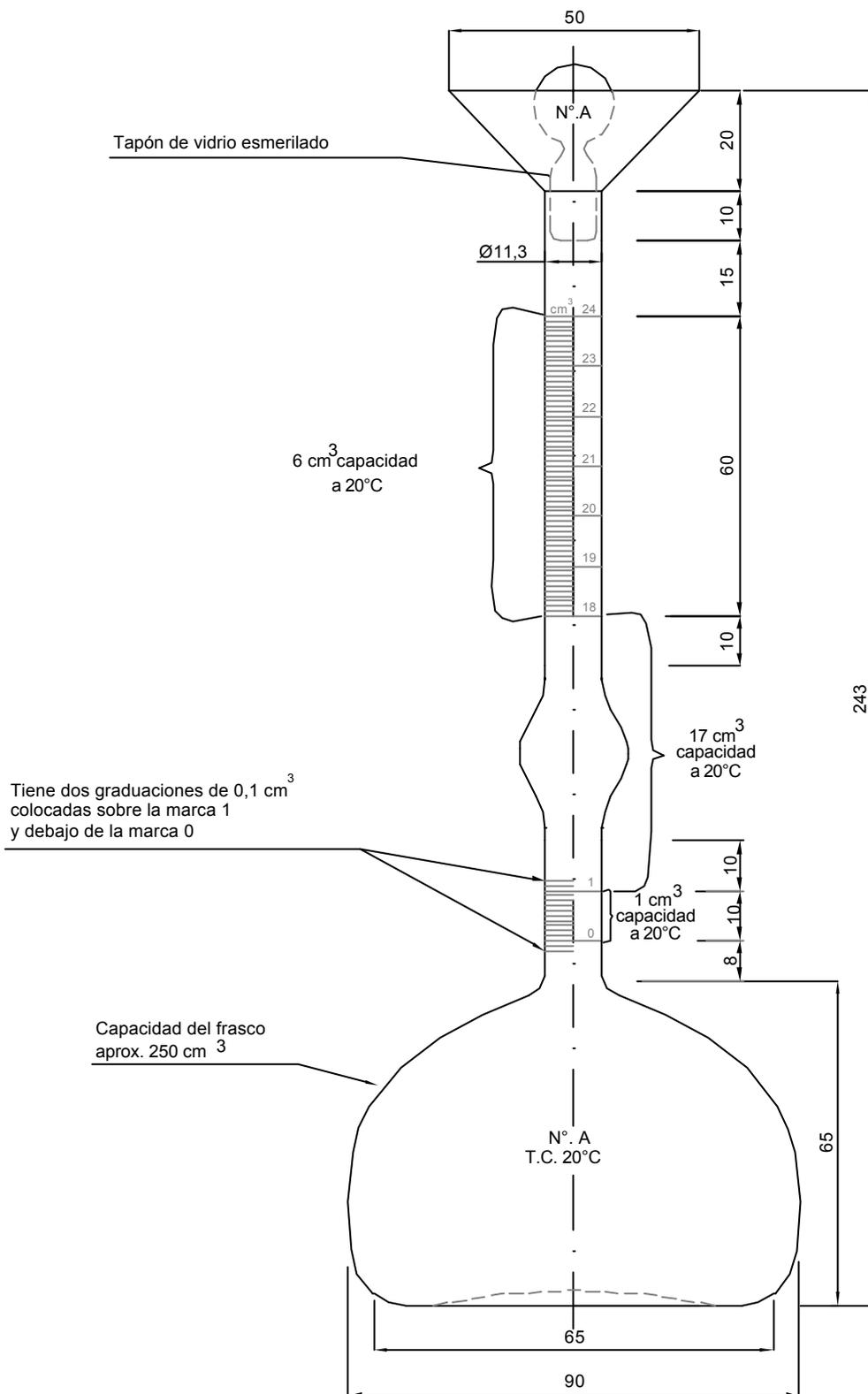
$$G_s = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 4° C}}$$

A la temperatura de 4°C, la densidad del agua es 1 g/cm<sup>3</sup>.

#### 5.- Precisión.

**5.1** Se ha encontrado que la desviación normal para un solo operador, para cemento, es de 0,012. Por lo tanto, los resultados de dos ensayes adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material, no deben diferir en más de 0,03 g/cm<sup>3</sup>

**5.2** Se ha encontrado que la desviación normal entre laboratorios, para cemento, es de 0,037. Por lo tanto los resultados de dos ensayes, adecuadamente ejecutados por dos diferentes laboratorios, en muestras del mismo cemento, no deben diferir en más de 0,10 g/cm<sup>3</sup>



Notas: -Variaciones de unos pocos milímetros en dimensiones como la altura total del frasco, diámetro de la base, etc., son de esperar y no se considerarán causa suficiente para el rechazo.

-Todas las dimensiones en milímetros.



## 8.402.2 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE DEL AGUA DE AMASADO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los ensayos que se deben realizar al agua que se utilice en el amasado de morteros y hormigones. Los requisitos que debe cumplir el agua se especifican en 8.401.1.

\* El Método 8.402.2 es una adaptación de la norma NCh 1498 of. 82.

**2.- Extracción de Muestras.** Extraiga las muestras de acuerdo con lo dispuesto en el Método 8.402.4.

**3.- Ensaye para Medición de pH. Método Potenciométrico.**

**3.1 Principio.** En esta medida se sumergen dos electrodos en la solución problema. Uno de los electrodos responde cuantitativamente a los cambios de pH (electrodo de vidrio); el otro es un electrodo constante o de referencia. Ambos van unidos al potenciómetro que mide la fuerza electromotriz o voltaje producido por los dos electrodos en la solución. Esta fuerza electromotriz es igual a la suma de los potenciales de los dos electrodos.

**3.2 Materiales y Reactivos.**

- Vasos de 100 ml.
- Varilla de vidrio.
- Termómetro.
- Agua destilada.
- Solución tampón de pH conocido.

**3.3 Procedimiento.**

- Coloque la solución problema en un vaso limpio y mida su temperatura.
- Calibre el potenciómetro a la temperatura de la muestra, usando la solución tampón de pH conocido.
- Lave los electrodos con agua destilada y sumérjalos en la solución problema.
- Lea el pH en el instrumento.
- Lave los electrodos con agua destilada y efectúe una nueva medición para certificar la medida anterior.
- Lave los electrodos con agua destilada después de cada medida y déjelos sumergidos en agua destilada cuando no se usen.

**4.- Ensaye para Determinación de las Materias Orgánicas en el Agua de Amasado.**

**4.1 Principio.** El contenido de materias orgánicas en el agua se determina midiendo el equivalente de oxígeno consumido para oxidarla. El consumo de oxígeno se calcula, a su vez, según el volumen de permanganato de potasio gastado hasta que aparezca un ligero color rosado en la muestra de agua. Previamente debe establecerse la equivalencia de la solución de permanganato de potasio en mg de oxígeno por ml.

**4.2 Reactivos.**

- a) Reactivo A, solución valorada de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) (1 ml de esta solución equivale a aproximadamente 0,1 mg de oxígeno).  
Pese 0,4 g de  $\text{KMnO}_4$  (permanganato de potasio) p.a. y disuelva en aproximadamente 1.000 ml de agua destilada. Hierva la solución y déjela reposar durante 1 a 2 días. Filtre por un embudo de placa filtrante N° 4 de vidrio y traspase a un frasco ámbar con tapa de vidrio esmerilada.  
Titule con una solución patrón de ácido oxálico ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ).
- b) Reactivo B, solución patrón de ácido oxálico ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ) (1 ml de esta solución equivale a 0,1 mg de oxígeno).

Pese 0,7875 g de  $C_2H_2O_4 \cdot 2 H_2O$  cristalizado p.a.; diluya con agua destilada y lleve a 1.000 ml en un matraz aforado.

c) Reactivo C, solución de ácido sulfúrico 1:3.

Vierta cuidadosamente una parte de  $H_2SO_4$  concentrado p.a. en tres partes de agua destilada; agregue a esta solución dos a tres gotas del reactivo A (debe permanecer un color rosado durante algunas horas).

d) Reactivo D, solución de hidróxido de sodio al 33%.

e) Factor de valoración del reactivo A. En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, que contiene 2 o 3 trozos pequeños de vidrio, coloque 20 ml del reactivo B, agregue 100 ml de agua destilada y 5 ml del reactivo C; caliente a ebullición.

Retire y agregue gota a gota desde una bureta el reactivo A, agitando constantemente hasta coloración rosada persistente. Registre los ml del reactivo A gastados.

Efectúe este ensaye en triplicado.

Calcule la equivalencia del reactivo A de la forma siguiente:

$$f_a = \frac{20}{V_a} \times 0,1 \left[ \text{mg de } O_2/\text{ml} \right]$$

donde:

$f_a$  : Factor de valoración, (mg de  $O_2$ /ml).

$V_a$  : Volumen de reactivo A gastado (ml).

**Nota 1:** Con el fin de eliminar trazas de materia orgánica, antes de realizar la valoración del reactivo A en el matraz Erlenmeyer con los trozos de vidrio coloque:

- 10 ml del reactivo A
- 90 ml de agua destilada.
- 5 ml del reactivo C.

Tape con embudo de vástago sellado, hierva durante 10 min. y luego enjuague con agua destilada.

#### 4.3 Procedimiento de Ensaye.

a) **Aguas con Contenido en Cloruros Inferior a  $0,3 \times 10^{-3} \text{ kgCl/l}$ .** Tome una alícuota de la muestra (por ejemplo 100 ml), previamente agitada y pásela al matraz Erlenmeyer, lavado según Nota 1. Agregue 5 ml del reactivo C y hierva suavemente durante 5 min. Agregue un volumen medido del reactivo A en cantidad suficiente (15 a 20 ml) para que no desaparezca la coloración rosada después de hervir, tapado con embudo de vástago sellado, durante 10 min.

Agregue reactivo B en igual cantidad que el reactivo A. Hierva hasta la disolución del precipitado formado. Retire y retitule con reactivo A, hasta aparición del color rosado; registre como  $V_c$  los ml gastados para alcanzar el punto final.

b) **Aguas con Contenido en Cloruros Superior a  $0,3 \times 10^{-3} \text{ kgCl/l}$ .** Tome una alícuota de la muestra (por ejemplo 100 ml), previamente agitada y pásela al matraz Erlenmeyer, lavado según Nota 1. Agregue 5 ml del reactivo C y hierva suavemente durante 5 min.

Retire, enfríe, neutralice con reactivo D y luego agregue 0,5 ml del reactivo D en exceso. Caliente a casi ebullición, agregue un volumen medido del reactivo A en cantidad suficiente (15 a 20 ml) para que no desaparezca la coloración rosada después de hervir, tapado con embudo de vástago sellado, durante 10 min.

Agregue reactivo B en igual cantidad que el reactivo A y después, lentamente, 10 ml del reactivo C; hierva hasta disolución del precipitado formado.

Retire y retitule con reactivo A hasta aparición del color rosado. Registre como  $V_c$  los ml gastados para alcanzar el punto final.

#### 4.4 Expresión de Resultados.

El oxígeno consumido equivalente a la materia orgánica presente en el agua se obtiene según:

$$\text{mgO}_2/\text{l agua} = \frac{V_b (f_a - 0,1) + V_c \times f_a}{V} \times 1.000$$

donde:

V<sub>b</sub> : Volumen de reactivo A agregado (igual al volumen de reactivo B), (ml).

V<sub>c</sub> : Volumen de reactivo A agregado para coloración rosada final, (ml).

f<sub>a</sub> : Factor de valoración del reactivo A.

V : Alícuota de la muestra de agua ensayada, (ml).

#### 4.5. Ejemplo.

- a) Cálculo del Factor de Valoración del Reactivo A. Se ha consumido un volumen V<sub>a</sub> = 21 ml de permanganato de potasio para colorear 20 ml del reactivo B.

El factor de valoración del reactivo A es:

$$f_a = \frac{20}{V_a} \times 0,1 = \frac{20}{21} \times 0,1 = 0,0952 \text{ mgO}_2/\text{ml}$$

- b) Análisis de la Muestra de Agua. Se ha tomado un volumen de la muestra de agua de 150 ml. Se agregó un volumen V<sub>b</sub> = 20 ml de reactivo A para mantener coloreada la muestra después de hervir. Luego se agregaron 20 ml de reactivo B.

Se retituló hasta color rosado con V<sub>c</sub> = 15 ml de reactivo A.

- c) Cálculo del Oxígeno Consumido. Se aplica la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{mgO}_2/\text{l agua} &= \frac{V_b (f_a - 0,1) + V_c \times f_a}{V} \times 1.000 \\ &= \frac{20 (0,0952 - 0,1) + 15 \times 0,0952}{150} \times 1.000 \\ &= 8,88 \frac{\text{mgO}_2}{\text{l agua}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la muestra de agua no es apta porque su contenido de materias orgánicas consume más oxígeno que el valor dado en la Tabla 8.401.1 A.

#### 5.- Ensaye para Determinación de Cloruros en el Agua de Amasado.

**5.1 Principio.** Esencialmente es similar al método descrito para la determinación de cloruros en los áridos, según Método 8.202.18.

**5.2 Reactivos.** Como se indica en el Método 8.202.18.

**5.3 Procedimiento.** Tome 100 ml de la muestra de agua previamente filtrada, o una alícuota menor si el contenido de cloruros es tan alto que impida la apreciación del punto final. Registre como V el volumen de ml tomados; continúe luego como se indica en el Método 8.202.18.

**5.4 Expresión de Resultados.** Calcule el contenido de cloruros en el agua (C), expresados en kg de anión cloruro por litro de agua, con aproximación a  $1 \times 10^{-6}$  kg, como sigue:

$$C = \frac{(b_a - b_b)}{V} \times f_b \times 3,545 \times 10^{-3}$$

donde :

- C : Contenido de cloruros en el agua, (kgCl/l<sub>agua</sub>).
- b<sub>a</sub> : Volumen de nitrato de plata gastado en el ensaye, (ml).
- b<sub>b</sub> : Volumen de nitrato de plata gastado en la muestra en blanco, (ml).
- f<sub>b</sub> : Factor de valoración del nitrato de plata.
- V : Alícuota de la muestra de agua ensayada, (ml).

**6.- Presentación de los Resultados.** El informe debe contener lo siguiente:

- a) Nombre del Contrato y Contratista.
- b) Nombre del laboratorio químico.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Tamaño de la muestra.
- e) Resultados de los ensayos; si se determina el pH, indicar el lugar donde se realizó el ensaye.
- f) Fecha de extracción y de ensaye de la muestra.
- g) Cualquier otra información relativa a los ensayos o al agua.

### **8.402.3 HORMIGONES: METODOS DE ENSAYE PARA COMPUESTOS LIQUIDOS FORMADORES DE MEMBRANA DE CURADO\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método se refiere a los ensayos que corresponde realizar a los compuestos líquidos formadores de membranas o láminas impermeables para curar el hormigón, en superficies verticales u horizontales.

\* El Método 8.402.3 es una adaptación de la norma AASHTO T 155.

**2.- Características Generales y Clasificación.** Las características generales, formas en que se suelen clasificar y requisitos a que deben ajustarse los compuestos de curado por ensayar según este método, son los que se describen en el Método 8.401.2.

#### **3.- Muestreo.**

**3.1 Cantidad por Muestrear.** Tome la muestra de un número de envases o tambores igual al entero mayor más próximo a la raíz cúbica del número total de ellos, por cada partida de producto.

#### **3.2 Forma de Extraer la Muestra.**

a) Si el producto se encuentra envasado en tambores, primeramente bata o mezcle bien el contenido, luego conforme la muestra extrayendo el líquido por terceras partes; un tercio desde el fondo, otro tercio desde el centro y el último tercio de la parte superior del tambor. Esta muestra se juntará con otra tomada de la misma forma desde otro tambor de la misma partida, de acuerdo a 3.1.

b) Si el producto se encuentra en envases, primeramente bata el contenido y luego conforme la muestra mezclando el contenido de los envases de acuerdo a 3.1.

**3.3 Identificación de las Muestras.** Selle e identifique todas las muestras.

**3.4 Forma de Identificar las Muestras.** Para la correcta identificación de muestras, especifique el tipo y clase del compuesto, así como también la forma en que se aplica y la dosis por m<sup>2</sup> de superficie de hormigón que corresponde colocar para el ensaye. Si no indica ni la dosis ni la forma de aplicación, se entenderá que el producto se aplica a razón de 0,2 l/m<sup>2</sup> con pistola.

#### **4.- Métodos de Ensayes.**

**4.1 Retención de Agua.** Efectúe el ensaye de retención de agua de acuerdo al procedimiento que se especifica en 5 "Ensaye de Retención de Agua".

**4.2 Tiempo de Secado.** Aplique el compuesto a un panel impermeable a la tasa especificada de aplicación y expóngalo al aire a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , con una humedad relativa de  $50 \pm 10\%$  y a una velocidad de  $180 \pm 5$  m/min que cruce horizontalmente la superficie del panel de ensaye. Toque la película con el dedo empleando una presión moderada; considere que la película está seca cuando no está pegajosa y se siente firme.

**4.3 Sedimentación a Largo Plazo.** Para el ensaye de rutina use la norma ASTM D 1309; en casos discutibles use la norma ASTM D 869.

**4.4 Contenido de No Volátiles.** Ensaye de acuerdo con la norma ASTM D 1644, Método A.

## 5.- Ensaye de Retención de Agua.

### 5.1 Equipos.

- a) Moldes. Use moldes indeformables e impermeables de las siguientes dimensiones:
- parte superior abierta :  $150 \pm 3$  mm de ancho.
  - $300 \pm 3$  mm de largo.
  - fondo :  $145 \pm 3$  mm de ancho.
  - $290 \pm 3$  mm de largo.
  - profundidad interior :  $50 \pm 3$  mm.
- b) Cámara de curado. La cámara debe proporcionar una temperatura de  $38 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ .
- c) Balanzas. Una balanza con capacidad de 10 kg, con resolución de 1 g y una balanza con capacidad de 1 kg con resolución de 0,1 g.
- d) Equipo para aplicar el producto para curar:
- Una pistola rociadora operada por aire comprimido.
  - Una brocha suave de paleta de 25 mm.
  - Una bandeja metálica de igual área que la probeta en su parte superior, con bordes de 3 mm de altura.
  - Una varilla para compactar, de caucho, de  $150 \pm 13$  mm de largo por  $25 \pm 3$  mm de ancho y de  $13 \pm 3$  mm de espesor.
  - Una regla de madera para enrasar la probeta.
  - Una revolvedora de mortero (opcional).

### 5.2 Preparación del Mortero de Ensaye.

- a) Componentes. Use cemento portland puzolánico corriente que cumpla con la NCh 148 y arena silicosa limpia, sin materia orgánica, que cumpla con la siguiente granulometría:

Tamaño de la Malla	Porcentaje retenido en peso
0,160 mm (N° 100)	$98 \pm 2\%$
0,315 mm (N° 50)	$72 \pm 5\%$
0,630 mm (N° 30)	$2 \pm 2\%$
1,25 mm (N° 16)	0%

- b) Dosificación. Determine las proporciones de cemento, agua y arena preparando una pasta de cemento con razón A/C = 0,4 en peso y agregue arena seca en cantidad suficiente para lograr un escurrimiento en la mesa de sacudidas de  $35 \pm 5\%$ .
- c) Mezcla de Prueba. Prepare una colada de prueba del mortero usando las siguientes cantidades:
- 600 g de cemento.
  - 240 ml de agua.
  - Arena saturada superficialmente seca, en cantidad suficiente para obtener un mortero que tenga el escurrimiento de  $35 \pm 5\%$  indicado.

**Nota 1:** La cantidad de arena usada en la preparación de este mortero se determina a posteriori, restando de una cantidad inicial conocida de arena el peso de la arena que sobró después de preparado el mortero.

### 5.3 Procedimiento de Ensaye. Ejecute el ensaye sobre una mesa de sacudidas, cuya cubierta tenga un diámetro de $255 \pm 2,5$ mm y una altura de caída de $12,5 \pm 0,2$ mm.

Limpie cuidadosamente la cubierta de la mesa, dejándola seca, y luego coloque en el centro el molde para escurrimiento, el que deberá ser tronco – cónico, hueco, de metal, de  $50 \pm 1$  mm de altura por  $100 \pm 2$  mm de diámetro inferior interno y de  $70 \pm 1$  mm de diámetro superior interno.

Coloque una capa de mortero en el molde, de unos 25 mm de espesor y pisonee 20 veces con un pisón especial que tenga una sección rectangular de 13 por 25 mm y un largo de 120 a 150 mm. La cara para pisonear debe ser plana y normal al largo del pisón; debe ser hecha de un material no absorbente, ni

abrasivo, ni quebradizo, tal como un compuesto de caucho que tenga una dureza Shore A de  $80 \pm 10$  o un roble tratado para hacerlo no absorbente.

**Nota 2:** El tratamiento del roble consiste en sumergirlo en parafina sólida calentada a  $200^{\circ}\text{C}$ , durante 15 min.

Enseguida llene el molde con el resto del mortero y pisonee otras 20 veces para lograr un llenado uniforme; luego empareje la parte superior con el borde del molde, empleando una regla metálica y un movimiento de aserrado.

A continuación limpie la cubierta de la mesa alrededor del molde y espere 60 s después de terminado el llenado; luego levante el molde con cuidado, sáquelo y haga funcionar la mesa de sacudidas a un ritmo de 25 golpes en 15 s. Completados los 25 golpes, mida el diámetro medio que presenta el mortero sobre la mesa, para lo cual haga 4 medidas regularmente espaciadas en la circunferencia de la mesa y promédíelas.

El escurrimiento se expresa como el porcentaje del aumento promedio del diámetro de la base del mortero, respecto del diámetro primitivo.

Si el mortero de la colada de prueba produce un escurrimiento menor que el permitido, descarte la colada y confeccione otro con menos arena. Si, en cambio, se produjera un exceso de escurrimiento, devuelva el mortero al bolo y agréguele un poco de arena; repita el ensaye. Si el escurrimiento todavía resulta excesivo, descarte la colada y haga una nueva.

**5.4 Moldeo de las Probetas.** Llene el molde por mitades, compactando cada una con 50 golpes suaves; nivele la superficie de la probeta presionando con la palma de la mano, y luego, con la regla de madera. La superficie deberá quedar uniforme, densa y libre de huecos y grietas o fisuras.

Forme una canaleta en forma de "V" entre el molde y el mortero, de unos 3 mm de profundidad y de no más de 1,5 mm de ancho y rellénela con parafina sólida fundida, cuidando que la parafina no se extienda más de 6 mm sobre la superficie de la probeta.

**5.5 Cantidad de Probetas.** Para cada compuesto confeccione 3 probetas, como mínimo.

**5.6 Almacenamiento de las Probetas.** Inmediatamente después de moldear las probetas, péselas con aproximación de 1 g y colóquelas en la cámara de curado, dejando entre ellas un espacio libre, en todo sentido, de 150 a 175 mm, para la circulación del aire.

Si quedaran huecos en la cámara, llénelos con probetas usadas.

Coloque las probetas de un mismo compuesto en una misma bandeja.

El primer día permita que circule suficiente aire fresco en la cámara de manera de eliminar rápidamente los vapores del solvente.

**5.7 Aplicación del Compuesto.** Transcurridos 30 min. desde la confección del molde, retire los moldes de la cámara, péselos y aplíqueles el compuesto en la dosis y forma especificada.

Determine visualmente si el cubrimiento es el adecuado; controle la aplicación de la dosis por pesadas con aproximación a la décima de gramo; enseguida retorne la probeta a la cámara. Después de 3 h pese nuevamente la probeta para detectar cualquier pérdida inusual de peso; si esto sucede deseche la probeta.

**Nota 3:** Una idea aproximada del efecto del compuesto en el hormigón se obtendrá rayando con un cuchillo la superficie de la probeta de mortero, usado para el ensaye de retención de agua, no menos de 72 h después de su aplicación y comparando con la dureza superficial determinada en una muestra gemela que ha tenido un curado húmedo de aproximadamente la mitad del tiempo. Cualquier ablandamiento significativo de la superficie tratada con el compuesto detectado en esta comparación, será causa suficiente para rechazar el compuesto.

**5.8 Duración del Ensaye.** Transcurridas 72 h desde que se aplicó el compuesto, pese las probetas, salvo que existan otras indicaciones del fabricante del producto.

**5.9 Corrección por Pérdida de Peso del Compuesto Líquido Durante el Ensaye.** Para determinar cuanta es la cantidad de materia volátil que pierde el compuesto durante el ensaye, coloque la misma cantidad de compuesto que usó en el ensaye, en una bandeja metálica de igual área que la probeta y de 3 mm de altura en sus bordes. Coloque la bandeja con el compuesto en la cámara junto con las probetas y pésela cada vez que pese las probetas; su pérdida de peso representa la pérdida de masa del compuesto durante el ensaye y servirá para corregir el valor de la cantidad de compuesto empleada en la probeta.

**5.10 Datos para el Cálculo de la Pérdida de Masa de Agua.** Finalizado el tiempo especificado para el curado, pese la probeta con su molde y calcule la pérdida del agua del mortero, anotando las siguientes masas y medidas:

- a) Masa de la probeta después de sellar los bordes, (g).
- b) Masa de la probeta más el compuesto aplicado, (g).
- c) Masa del compuesto aplicado en la probeta, (g).
- d) Masa de la bandeja metálica antes de colocar el compuesto, (g).
- e) Masa de la bandeja con el compuesto, (g).
- f) Masa del compuesto líquido colocado en la bandeja, (g).
- g) Masa de la bandeja con el compuesto después de las horas de tratamiento en la cámara, (g).
- h) Pérdida de masa en la bandeja después del tratamiento, (g).
- i) Masa de la probeta con el molde después de las horas de tratamiento en la cámara, (g).
- j) Pérdida de la masa de la probeta, (g).
- k) Pérdida de masa de la probeta corregida por la pérdida de masa del compuesto de curado, (g).
- l) Área de la superficie del mortero de la probeta, (cm<sup>2</sup>).

**5.11 Cálculo de la Pérdida de Masa de Agua.** Expresé la pérdida de masa del agua del mortero como los gramos perdidos por cm<sup>2</sup> de superficie y calcule el promedio de los valores de las 3 o más probetas.

$$\text{Pérdida de Agua} = \frac{(b - i - h)}{l} \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \right]$$

Si resultara una diferencia mayor de 0,025 g/cm<sup>2</sup> entre la probeta con la mayor pérdida de agua y aquella con la menor, el ensaye deberá repetirse con otras 3 o más probetas. En este caso el promedio se calculará sobre todos los valores obtenidos, incluyendo los del primer ensaye.

**6.- Presentación de los Resultados.** En el informe incluya los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del fabricante, marca comercial, tipo y clase del producto.
- b) Marca y tipo de cemento usado.
- c) Fecha del muestreo, si procede, con indicación del lote representado por la muestra, y el lugar de muestreo del compuesto líquido.
- d) Método usado para aplicar el compuesto.
- e) Duración del ensaye.
- f) Resultado del ensaye, (g/cm<sup>2</sup>).

#### **8.402.4 HORMIGONES: METODO DE MUESTREO DEL AGUA DE AMASADO\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para extraer muestras de agua, tanto en circulación como en depósitos, destinada a la elaboración de morteros y hormigones.

\*El Método 8.402.4 es una adaptación de la norma NCh 1443 – 78.

#### **2.- Aparatos.**

**2.1 Envases.** Extraiga la muestra mediante frascos o botellas de vidrio u otro material no absorbente y químicamente inerte con la posible composición del agua, provistos de tapas herméticas, tales como tapones de caucho, plástico, etc. No utilice tapones metálicos.

**2.2 Embalajes.** Utilice cajas de madera u otro material resistente y de capacidad suficiente para embalar él o los envases correspondientes a una muestra. Las cajas deben proveerse con protecciones y/o divisiones interiores (de fieltro, aserrín, paja, cartón corrugado, madera, etc.), que minimicen daños ante eventuales choques o golpes.

**2.3 Accesorios.** Etiquetas, tinta indeleble, cera o lacre para el sellado, etc.

**3.- Lugar de Extracción.** Extraiga la muestra desde el depósito de almacenamiento del agua en la obra o bien de la o las fuentes que se desean utilizar para aprovisionarse.

#### **4.- Tamaño de la Muestra.**

**4.1** La muestra debe consistir de un volumen igual o mayor que 2 l.

**4.2** Para ensayos especiales o para mezclas de prueba de hormigón, aumente el tamaño de la muestra en la cantidad requerida.

#### **5.- Frecuencia de Muestreo.**

**5.1** Para aguas de composición estable por su origen será suficiente una muestra.

**5.2** Para aguas con presumibles variaciones en la composición y cantidad de impurezas, establezca un plan de muestreo en función de las posibles alteraciones o contaminaciones.

**5.3** Para aguas que presentan una o varias impurezas en el límite de aceptación, o sean críticas para el proceso de hormigonado, la frecuencia debe ser establecida por la autoridad competente o por las especificaciones especiales del proyecto.

#### **6.- Operación.**

**6.1 Limpieza.** Lave el envase y tapón cuidadosamente con solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% (30 g de soda cáustica en 1 l de agua), seguido de un lavado con abundante agua potable. Repita el lavado varias veces con el agua por muestrear.

No emplee envases que aún después del lavado mantengan residuos adheridos.

**6.2 Toma de la Muestra.** Coloque el envase, ya sea interponiéndolo en el flujo de salida de la tubería de conducción o introduciéndolo en la corriente o depósito de agua, de manera de recoger la muestra en la condición más representativa posible, sin desechar las materias en suspensión o decantadas.

Llene el envase dejando libre sólo, aproximadamente, el 1% de su capacidad para permitir la expansión del líquido; tápelo herméticamente y selle de modo de evitar pérdidas y contaminaciones.

**6.3 Marcado.** Coloque en él o los envases correspondientes a cada muestra una marca de identificación indeleble que permita individualizarla en cualquier momento.

**6.4 Embalaje.** Acomode él o los envases debidamente protegidos en su embalaje, consignando en el exterior la procedencia, el destino y las indicaciones para mantener la caja en posición correcta y manipularla cuidadosamente.

**7.- Plazo entre el Muestro y el Análisis.** El plazo entre muestreo y análisis debe ser el menor posible y no exceder de 7 días.

**8.- Registro.** Cada muestra se debe acompañar con un registro en que se indiquen los siguientes datos:

- a) Marca de identificación de él o los envases, según 6.3.
- b) Nombre del Contrato y Contratista.
- c) Número y fecha del muestreo.
- d) Procedencia de la muestra (pozo, canal, río, manantial, etc.).
- e) Lugar de extracción.
- f) Uso a la que está destinada.
- g) Ensayes requeridos.
- h) Cualquier información específica relativa a las características del depósito o caudal (por ej. recorrido, crecidas, temperatura, etc.) y a los requisitos de empleo.
- i) Referencia a este método.

## 8.402.5 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGON FRESCO\*

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente, el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón fresco.

\* El Método 8.402.5 es una adaptación de la norma NCh 1564 E of. 79.

2.- **Referencias.** Son aplicables los siguientes Métodos:

- Método 8.202.20 Agregados Pétreos: Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.
- Método 8.202.21 Agregados Pétreos: Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en pétreos finos.

3.- **Terminología.**

3.1 **Densidad.** De acuerdo con la NCh 22, es el cociente entre la masa de una sustancia y su volumen a una temperatura especificada.

3.2 **Densidad Aparente del Hormigón.** Es la densidad que se calcula considerando como volumen el volumen aparente de la mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Este volumen corresponde al de la medida que lo contiene.

3.3 **Rendimiento de la Amasada ( $V_a$ ).** Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en una amasada.

3.4 **Rendimiento Relativo ( $R_r$ ).** Cociente entre el volumen aparente de hormigón fresco elaborado y el volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada (volumen de diseño).

3.5 **Rendimiento por Saco de Cemento ( $R_s$ ).** Volumen aparente de hormigón fresco elaborado utilizando un saco de cemento; se expresa en  $m^3/saco$ , indicando la capacidad del saco, 42,5 kg o 50 kg, según corresponda.

3.6 **Contenido de Aire.** Volumen de aire arrastrado o incorporado al hormigón, expresado como porcentaje del volumen aparente de ese hormigón.

4.- **Aparatos.**

4.1 **Balanza.** Utilice una balanza de capacidad igual o mayor que 50 kg para la medida de 15 l e igual o mayor que 100 kg para la medida de 30 l; la resolución debe ser mínimo de 50 g.

4.2 **Varilla Pisón.** Barra cilíndrica lisa de acero de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

4.3 **Vibradores.**

- a) Vibradores internos. Los vibradores internos deben operar a una frecuencia de vibración igual o mayor que  $100 s^{-1}$  (6.000 pulsaciones/min); el diámetro externo del elemento vibrador debe estar comprendido entre 20 y 40 mm.
- b) Vibradores externos. Los vibradores externos serán de mesa o de placa, con una frecuencia de vibración igual o superior a  $50 s^{-1}$  (3.000 pulsaciones/min).

**4.4 Medidas Volumétricas.** Para medir el volumen utilice recipientes metálicos, impermeables, estancos, químicamente inertes con los componentes del hormigón y provistos de dos asas. El interior debe tener la forma de un cilindro recto abierto por una de sus caras planas ; debe rectificarse, si corresponde, para asegurar las dimensiones interiores.

- a) La capacidad nominal y dimensiones de los recipientes deben ser las que se indican en Tabla 8.402.5.A, las que están en función del tamaño máximo nominal del árido empleado.

**TABLA 8.402.5.A  
DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS VOLUMETRICAS**

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal (m³)	Dimensiones interiores		Espesor mínimo	
		Diámetro (mm)	Altura mínima (mm)	Base (mm)	Pared (mm)
50 o menor	0,015	255 ± 5	280	3	2
63 o mayor	0,030	355 ± 5	300	3	2

- b) Se deben reforzar los bordes de la medida con una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho.

**4.5 Placa de Enrase.** Es una placa de metal, vidrio o acrílico cuyo ancho y largo deben superar en 50 mm o más al diámetro de la medida; su espesor debe ser igual o mayor que 6 mm en placas de metal, e igual o mayor que 12 mm en placas de vidrio o acrílico.

## 5.- Calibración de la Medida.

**5.1 Verificación Previa.** Antes de cada ensaye verifique la tara de la medida, aproximando a 50 g.

**5.2 Verificaciones Periódicas.** Periódicamente revise la capacidad volumétrica de la medida, con una precisión de 0,1%, determinando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

## 6.- Muestreo.

El muestreo debe ajustarse a lo dispuesto en el Método 8.402.6.

## 7.- Ensaye.

**7.1 Compactación.** Compacte mediante apisonado o vibrado según el procedimiento que se indica en la Tabla 8.402.5.B, en función del asentamiento del hormigón, excepto que las especificaciones técnicas especiales establezcan un procedimiento determinado para una obra en particular.

**TABLA 8.402.5.B  
PROCEDIMIENTO PARA COMPACTAR EN FUNCION DEL ASENTAMIENTO.**

Asentamiento "a" ( cm)	Procedimiento de compactación
a < 5	Vibrado
5 ≤ a ≤ 10	Vibrado o apisonado
a > 10	Apisonado

**Nota 1:** La compactación debe ser lo más parecida posible a la usada en la obra. Si se usa otro procedimiento o no se cumple con lo especificado en Tabla 8.402.5.B, se debe dejar constancia especial en el informe.

- a) Apisonado:
- Coloque el hormigón fresco en la medida mediante tres capas de espesores aproximadamente iguales y de manera que la última capa exceda sobre el borde de la medida.
  - Compacte cada capa con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección, a razón de 25 golpes por capa cuando se emplee la medida de 15 l y de 50 golpes por capa cuando se emplee la medida de 30 l.
  - Apisone la capa inferior en toda su altura, sin golpear el fondo de la medida.
  - Apisone las capas superiores de modo que la varilla pisón penetre en la capa subyacente, aproximadamente, 2 cm.
  - Después de apisonar cada capa, golpee 10 o más veces los costados de la medida hasta que no continúen apareciendo burbujas grandes de aire en la superficie de la capa compactada y se cierren los vacíos dejados por la varilla pisón.
- b) Vibrado interno:
- Coloque el hormigón fresco en la medida, en dos capas aproximadamente iguales y de manera que en la última capa quede hormigón en exceso por sobre el borde de la medida.
  - Compacte cada capa mediante tres inserciones del vibrador.
  - Introduzca el vibrador verticalmente en la capa inferior hasta aproximadamente 2 cm del fondo de la medida; en la capa superior introduzca de modo que el vibrador penetre aproximadamente 2 cm en la capa subyacente; realice esta operación sin tocar las paredes ni el fondo del molde con el vibrador.
  - Retire el vibrador tan lentamente como sea posible.
  - Vibre solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón.
  - Durante el vibrado de la capa superior, mantenga permanentemente hormigón en exceso por sobre el borde de la medida, rellenando con hormigón fresco cuando sea necesario.
- c) Vibrado externo:
- Fije firmemente la medida al elemento vibrador, manualmente o con algún dispositivo mecánico, de modo que ambos vibren solidariamente.
  - Coloque el hormigón en una sola capa, manteniendo en todo momento hormigón en exceso sobre el borde de la medida.
  - Vibre el tiempo necesario para asegurar la compactación, presionando simultáneamente la superficie del hormigón; detenga el vibrado cuando una delgada capa de lechada cubra la superficie.

## 7.2 Enrase y Alisado.

- a) Al terminar la compactación deje un exceso de hormigón de aproximadamente 3 mm de espesor por sobre el borde de la medida.
- b) Enrase y alise mediante la placa, cuidando dejar el recipiente lleno justo hasta el borde de la medida.

**7.3 Pesada.** Inmediatamente después de terminar el alisado, limpie el exterior de la medida y pésela. Reste la masa de la medida a fin de determinar y registrar la masa del hormigón que llena la medida (m) aproximando a 50 g para la medida de 15 l y a 100 g para la medida de 30 l.

## 8.- Expresión de los Resultados.

**8.1 Densidad Aparente.** Calcule la densidad aparente del hormigón fresco, con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$

donde:

- $\rho_a$  : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m<sup>3</sup>).
- m : Masa del hormigón fresco que llena la medida, (kg).
- V : Capacidad volumétrica de la medida, (m<sup>3</sup>).

**8.2 Rendimiento de la Amasada.** Calcule el rendimiento de la amasada del hormigón fresco como el volumen aparente de hormigón elaborado en cada amasada, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m<sup>3</sup>/amasada.

$$V_a = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{\rho_a}$$

donde:

- V<sub>a</sub> : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>).
- m<sub>c</sub> : Masa de cemento incorporado a la amasada, (kg).
- m<sub>a</sub> : Masa de arena en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada, (kg).
- m<sub>g</sub> : Masa de grava en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada, (kg).
- m<sub>w</sub> : Masa del agua incorporada a la amasada, (kg).
- ρ<sub>a</sub> : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m<sup>3</sup>).

**8.3 Rendimiento Relativo.** Calcule el rendimiento relativo del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando al 1%:

$$R_r = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

donde :

- V<sub>a</sub> : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>).
- V<sub>t</sub> : Volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada, (m<sup>3</sup>) (corresponde a V<sub>r</sub> + volumen de aire estimado para cada amasada).
- V<sub>r</sub> : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>), calculado según 8.6.

**Nota 2:** El rendimiento relativo puede obtenerse también a partir de las densidades (ρ<sub>t</sub> : ρ<sub>a</sub>) o de los contenidos de cemento (C<sub>efectivo</sub> : C<sub>especificado</sub>).

**8.4 Rendimiento por Saco de Cemento.** Calcule el rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m<sup>3</sup>/saco (l/saco):

$$R_s = \frac{V_a}{N}$$

donde:

- R<sub>s</sub> : Rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco, (m<sup>3</sup>/saco) (l/saco).
- V<sub>a</sub> : Volumen aparente del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>) (l).
- N : Número de sacos de cemento empleados en cada amasada.

**Nota 3:** Se debe indicar la capacidad del saco; 42,5 kg o 50 kg, según corresponda.

**8.5 Contenido Efectivo de Cemento.** Calcule el contenido efectivo de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg cem/m<sup>3</sup> de hormigón elaborado:

$$c = \frac{m_c}{V_a}$$

donde:

- c : Contenido efectivo de cemento, (kg cem/m<sup>3</sup>)
- m<sub>c</sub> : Masa de cemento incorporada a la amasada, (kg).
- V<sub>a</sub> : Volumen aparente de hormigón fresco, elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>).

**8.6 Contenido Estimado de Aire.** Calcule el contenido de aire del hormigón fresco con una de las fórmulas siguientes, aproximando al 1%.

$$A = \frac{V_a - V_r}{V_a} \times 100$$

donde:

A : Contenido estimado de aire del hormigón fresco, (%).

V<sub>a</sub> : Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>).

V<sub>r</sub> : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada, (m<sup>3</sup>), calculado según la fórmula:

$$V_r = V_{rc} + V_{ra} + V_{rg} + V_w$$

donde:

V<sub>rc</sub>, V<sub>ra</sub>, V<sub>rg</sub> y V<sub>w</sub> son los volúmenes reales de todos los materiales incorporados a la amasada,

o bien

$$A = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100$$

donde:

ρ<sub>a</sub> : Densidad aparente del hormigón fresco, (kg/m<sup>3</sup>).

ρ<sub>r</sub> : Densidad real del hormigón fresco, (kg/m<sup>3</sup>), calculada según la fórmula:

$$\rho_r = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{V_r}$$

**Nota 4:** El volumen real de cada material corresponde a su masa dividida por su densidad real.  
Para los áridos se debe determinar la masa y la densidad real en condición de saturados superficialmente secos, de acuerdo con los Métodos 8.202.20 y 8.202.21.  
Para el cemento se debe determinar la densidad según Método 8.402.1.

**Nota 5:** La densidad real del hormigón fresco se determina en el laboratorio y se estima constante para todas las amasadas elaboradas con los mismos materiales y la misma dosificación.

**9. Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del Contrato y del Contratista
- b) Dosificación y procedencia de los materiales.
- c) Fecha, hora, lugar y nombre del laboratorista que extrajo la muestra.
- d) Resultados.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al hormigón.
- f) Referencia a este Método.



## 8.402.6 HORMIGONES: METODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGON FRESCO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos para extraer muestras representativas del hormigón fresco, destinadas a ser ensayadas. Se aplicará a hormigones de cemento hidráulico, confeccionado tanto en obra como en el laboratorio.

Este método no especifica planes de muestreo para control estadístico u otros efectos.

\* El Método 8.402.6 es una adaptación de la norma NCh 171 E of. 75.

### 2.- Referencias.

- Norma NCh 171 E Of. 75 Hormigón. Extracción de muestras del hormigón fresco.

### 3.- Terminología.

**3.1 Hormigón Fresco.** Para los efectos de este método, hormigón fresco es la mezcla que ha terminado su proceso de preparación, que aún no ha sido colocada y que se encuentra dentro de un lapso de dos horas, si fue preparada utilizando cementos de grado corriente y una hora, si se utilizaron los de grado de alta resistencia; este tiempo se mide desde el comienzo del amasado. Transcurrido los plazos señalados, las muestras que se obtengan deben considerarse como muestras especiales y tratarse como tales.

**3.2 Muestra de Fabricación.** Es la destinada a evaluar la calidad potencial del hormigón; refleja las características de los materiales, la dosificación y el mezclado. Se extrae de un lugar tan próximo como sea posible a la salida de la hormigonera.

**3.3 Muestra en Sitio.** Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón junto al sitio de colocación; se extrae de un lugar tan próximo como sea posible al de colocación.

**3.4 Muestra Especial.** Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón en cualquier etapa del proceso de hormigonado. Refleja los efectos de operaciones en puntos intermedios entre la salida de la hormigonera y el lugar de colocación, o los efectos del ambiente en la que se ha conservado.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Recipientes de Muestreo.** Deben ser de material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón, estancos al agua y de capacidad suficiente para contener la muestra o las porciones de ella. Deben encontrarse limpios y húmedos al momento de su uso.

El recipiente para muestreo de hormigón debe tener una abertura de dimensiones tales que permita el remezclado de la muestra completa por medio de la pala.

**Nota 1:** Comúnmente se emplean carretillas o bateas metálicas.

### 5.- Muestreo

**5.1 Tamaño de la Muestra.** El tamaño de la muestra de hormigón fresco será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos, y en ningún caso inferior a 30 l.

**5.2 Tiempo.** El tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y el moldeo de las probetas, incluidos los controles requeridos al hormigón fresco, deberá ser el mínimo posible y en ningún caso excederá de 15 min.

## 6.- Extracción de Muestras.

### 6.1 Muestras de Fabricación.

#### a) Hormigoneras Estacionarias.

- Efectúe la extracción en uno o más intervalos regulares, cuando la hormigonera se encuentre aproximadamente en la mitad del período de descarga, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2), y sin restringir el flujo de salida del hormigón.
- Extraiga la muestra o las porciones de muestra necesarias pasando el recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

#### b) Camiones Hormigoneras.

- Regule el flujo de descarga del hormigón mediante la velocidad de rotación del tambor, sin estrangular el flujo con la compuerta.
- Efectúe la extracción de la muestra en uno o más intervalos regulares durante la descarga de la hormigonera, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2).
- Extraiga la porción de cada intervalo pasando una sola vez un recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

### 6.2 Muestras en Sitio.

a) Hormigón en Acopio. Extraiga por lo menos cinco porciones de muestra de diferentes puntos del acopio. Cuando el hormigón se encuentra depositado sobre el terreno, evite que la muestra se contamine por arrastre de material de la superficie de apoyo.

b) Hormigón en Tolva. Extraiga la muestra retirando porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga de la tolva, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2).

**Nota 2:** Se considera que el hormigón tiene la homogeneidad suficiente entre el 10% y el 90% de la descarga.

c) Hormigón en Medios de Transporte. Extraiga la muestra por uno de los procedimientos descritos en 6.1 y 6.2, prefiriendo el que mejor se adapte a las condiciones prevaecientes.

## 7.- Acondicionamiento de las Muestras.

**7.1 Transporte.** Cuando sea necesario transportar el hormigón muestreado, hágalo en los recipientes de muestreo hasta el lugar donde se confeccionarán las probetas o se harán los controles de ensayos.

**7.2 Protección.** Cubra las muestras durante el período comprendido entre su extracción y la confección de las probetas o controles requeridos de hormigón fresco, a fin de protegerlas de los agentes climáticos.

**Nota 3:** Comúnmente se emplean arpilleras húmedas, lonas húmedas o láminas de polietileno.

**7.3 Remezclado.** Antes de llenar los moldes o realizar los ensayos, remezcle la muestra con pala en el mismo recipiente de muestreo.

## 8.402.7 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define el procedimiento para determinar la docilidad del hormigón fresco, tanto en el laboratorio como en obra, mediante el asentamiento que experimenta en el Cono de Abrams.

El procedimiento es aplicable a hormigones preparados con áridos de tamaño máximo absoluto 50 mm. Es válido para establecer la docilidad de hormigones frescos con asentamientos comprendidos entre 2 y 18 cm.

\* El Método 8.402.7 es una adaptación de la Norma NCh 1019 E of. 74.

### 2.- Referencias.

Método 8.402.6 Hormigones: Método para extraer muestras del hormigón fresco.

### 3.- Terminología.

**3.1 Docilidad (trabajabilidad).** Expresa la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado sin que se produzca segregación.

**3.2 Asentamiento.** Es la medida del descenso que experimenta el hormigón fresco, determinado de acuerdo a este método y que sirve como indicador de la docilidad.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Molde** (Ver Láminas 8.402.7.A y 8.402.7.B Fig. 1 para los detalles):

- a) Tendrá forma de un tronco de cono recto, abierto por ambos extremos.
- b) Será metálico, de espesor igual o superior a 1,6 mm; la superficie interna será lisa y libre de rebordes y abolladuras.
- c) Dimensiones:
  - Base superior:  $100 \pm 1,5$  mm de diámetro.
  - Base inferior:  $200 \pm 1,5$  mm de diámetro.
  - Altura:  $300 \pm 1,5$  mm.
- d) Tendrá dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afirmar el cono contra la plancha de apoyo durante el llenado.
- e) Tendrá dos asas en el tercio superior de la altura, cuyo objetivo es levantar el molde después de llenado con el hormigón.

**4.2 Varilla Pisón.** Será una barra cilíndrica lisa de acero, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos semiesféricos, de 16 mm de diámetro.

**4.3 Plancha de Apoyo.** Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400 x 600 mm.

**4.4 Poruña de Llenado.** Será metálica, de preferencia de fondo redondo y punta de huevo, de dimensiones adecuadas para vaciar el hormigón en el molde.

### 5.- Procedimiento.

**5.1 Muestras de Hormigón.** El tamaño y extracción de la muestra de hormigón necesaria para efectuar el ensaye se ajustará a lo señalado en el Método 8.402.6.

## 5.2 Acondicionamiento del Equipo.

- a) Antes de iniciar el ensaye verifique que tanto el molde como sus accesorios se encuentren limpios y húmedos (sólo con agua).
- b) Coloque el molde sobre la plancha de apoyo horizontal.

**5.3 Tiempo de Operación.** Las operaciones de llenado del molde, seguida de su retiro, levantándolo, como se describe en 5.4 desde a) a f), deben efectuarse en un tiempo no superior a 3 min.

## 5.4 Llenado del Molde.

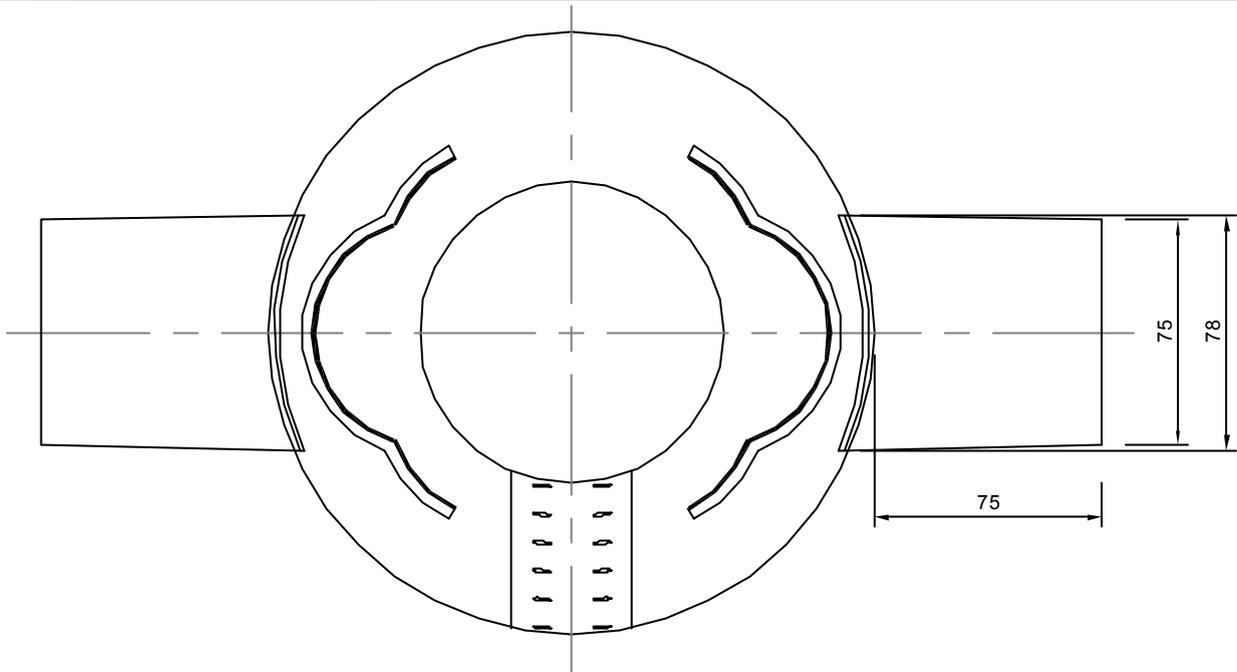
- a) El operador debe pararse sobre las pisaderas, afirmando el molde firmemente contra la plancha de apoyo, de manera de evitar cualquier movimiento durante el llenado.
- b) Llene con el hormigón por ensayar mediante tres capas de aproximadamente igual volumen; la primera deberá alcanzar una altura aproximada de 7 cm y la segunda una altura aproximada de 16 cm, ambas medidas desde la base.
  - Apisone cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.
  - Apisone la capa inferior en toda su profundidad, cuidando de no golpear la plancha de apoyo. Dé, aproximadamente, la mitad de los golpes alrededor del perímetro con la varilla pisón ligeramente inclinada; luego siga dando golpes con la varilla vertical, acercándose al centro en forma de espiral.
  - Apisone las capas media y superior en todo su espesor, de modo tal que la varilla pisón penetre apenas en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantenga permanentemente un exceso de hormigón por sobre el borde superior del molde, sin sobrepasar el número de golpes estipulados.
- c) Terminada la compactación de la capa superior, enrase la superficie con un movimiento de aserrado y rotación de la varilla pisón, apoyándola en el borde superior del molde.
- d) Retire del área adyacente al molde todo el hormigón que se hubiere derramado.
- e) Levantamiento del molde:
  - Inmediatamente después de terminado el llenado del molde, levántelo evitando cualquier perturbación o golpe, tanto al cono como a la base, a fin de no alterar la medida.
  - Para levantar, cargue las asas con las manos, dejando libres las pisaderas.
  - Levante verticalmente el molde en forma suave, sin originar desplazamientos laterales ni movimientos de torsión; esta operación no debe tardar más de 5 a 10 s.
- f) Medición del asentamiento ( Ver Lámina 8.402.7.B Fig. 2).
  - Una vez levantado el molde, colóquelo en posición invertida a un costado del hormigón moldeado
  - Inmediatamente mida la disminución de altura que ha experimentado la cara superior del hormigón respecto del borde superior del molde colocado a su costado, con aproximación de 0,5 cm. Con una huincha o regla graduada en mm, mida, aproximadamente, en el eje original de moldeo de la mezcla, con la visión del operador en dirección perpendicular a la huincha o regla de medición.
- g) Si el hormigón moldeado se inclina decididamente hacia un lado o sufre desprendimientos parciales de su masa, repita el ensaye utilizando otra porción de hormigón de la misma muestra. En caso que por segunda vez se presenten algunos de los fenómenos descritos, informe que el hormigón no es apto para el ensaye del asentamiento, por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias.

**Nota 1:** Toda porción de una muestra de hormigón utilizada en este ensaye, deberá desecharse una vez concluida la operación.

**6.- Expresión de los Resultados.** Informe el asentamiento del Cono de Abrams como la disminución de altura determinada como se indica en 5.4 f), informando el resultado en cm, con aproximación a 0,5 cm.

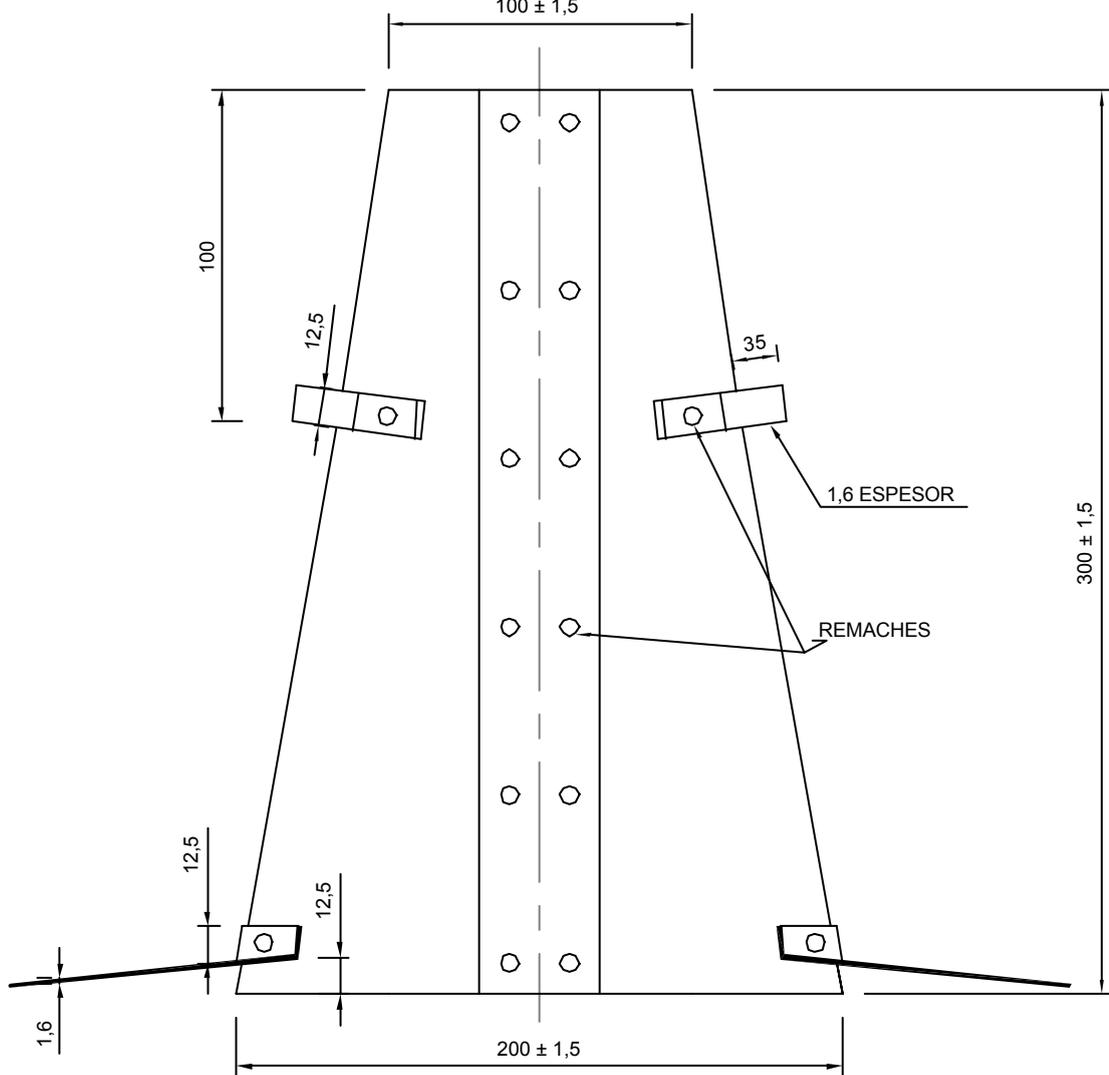
**7.- Informe.** El Informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a)** Nombre del Contrato y del Contratista que preparó el hormigón.
- b)** Identificación de la muestra (tipo o grado del hormigón, procedencia de la muestra).
- c)** Lugar y fecha de muestreo.
- d)** Entidad responsable del muestreo y ensaye.
- e)** Valor del asentamiento registrado.
- f)** Cualquier observación relativa al aspecto visual del hormigón.
- g)** Constancia si se presentó o no la situación descrita en 5.4 g).
- h)** Dejar constancia que se ensayó en conformidad con este Método.



PLANTA

100 ± 1,5



Escala 1:2.5

Nota: Todas las dimensiones en milímetros.

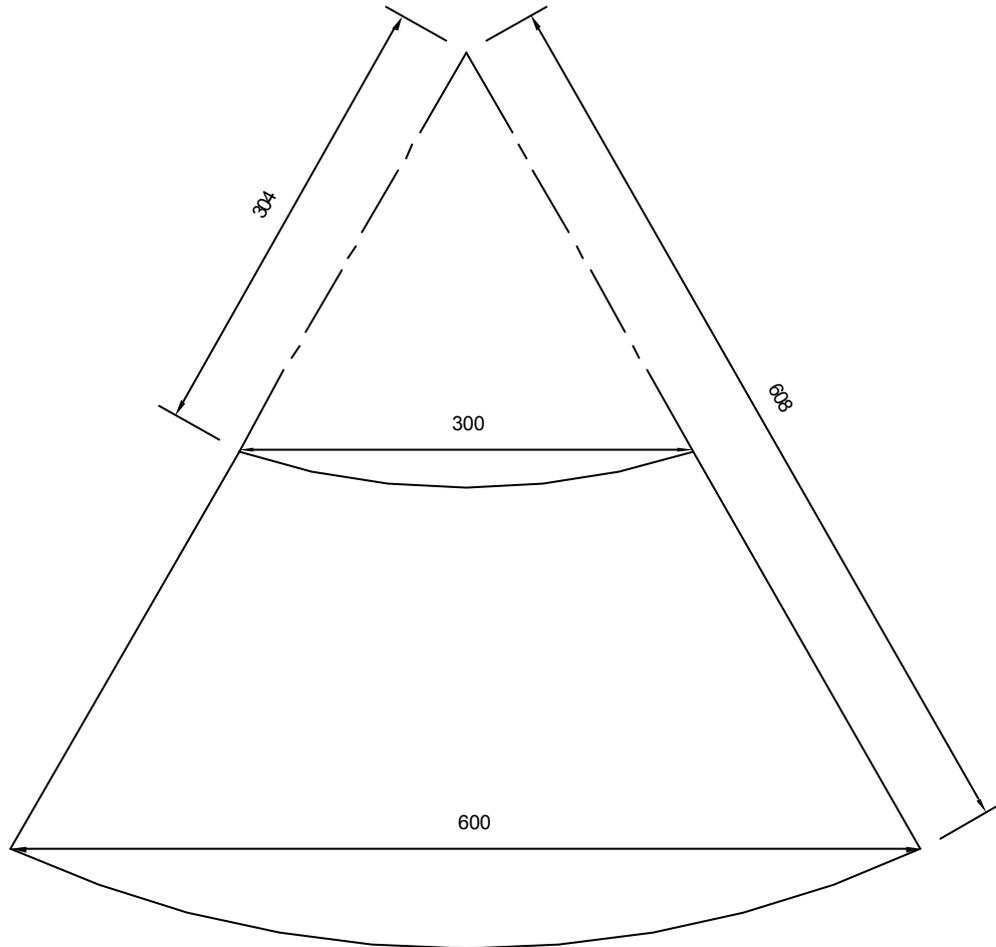


FIGURA 1 (MOLDE EXTENDIDO)

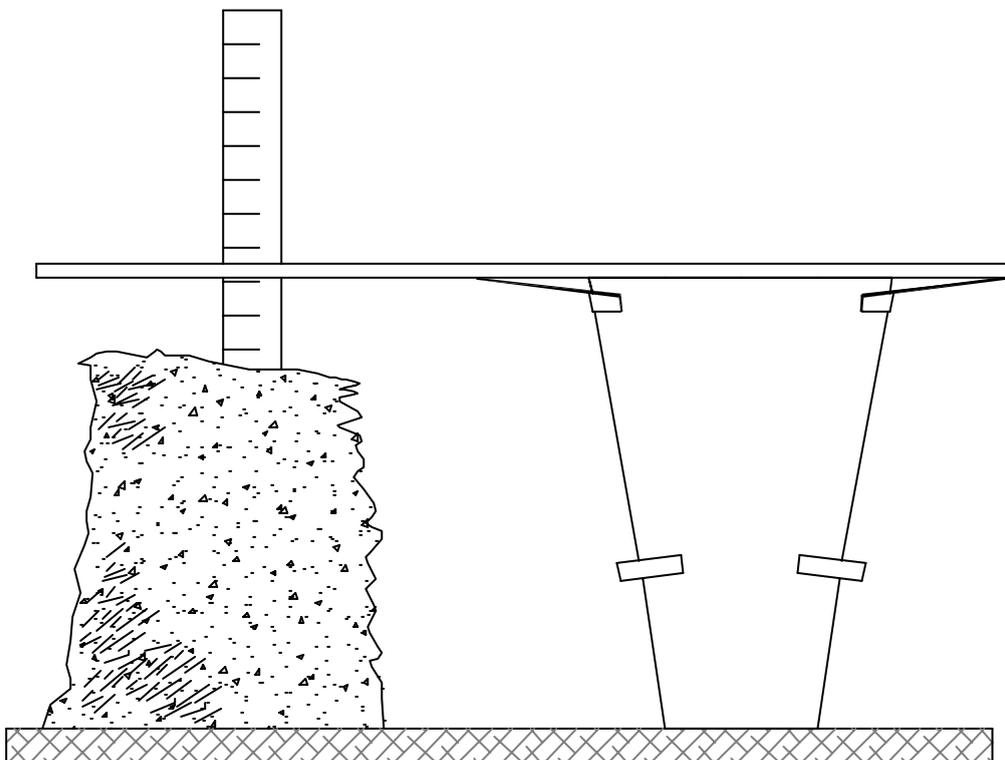


FIGURA 2

Nota: Todas las dimensiones en milímetros. Escala 1:5



## 8.402.8 HORMIGONES: METODO DE EXTRACCION Y PREPARACION PARA ENSAYE DE TESTIGOS CILINDRICOS

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos que se deben seguir para extraer testigos cilíndricos taladrados, prepararlos y ensayarlos con el propósito de determinar propiedades específicas (compresión, tracción por hendimiento, determinación de espesores, etc.) del hormigón endurecido, simple o armado, en edificios, pavimentos y otros elementos de construcción. Estos procedimientos son eficaces para evaluar adecuadamente los comportamientos de los hormigones fabricados y conservados en ambientes normales de acuerdo con la norma NCh 170.

El presente método indica los principales factores de conversión, como los de esbeltez y forma, pero no considera otros factores como los referentes a la dirección de extracción con relación a la vertical del vaciado, la influencia del clima en el grado de maduración, la porosidad, las inclusiones, etc. Es preferible determinar esos factores de conversión en obra, con un significativo número de comparaciones, usando los mismos materiales, proporciones y clima. Los factores de conversión por esbeltez no son aplicables para resistencias menores a H-15 o mayores que H-45, y respecto a los factores de conversión de cilindro a cubo no se cuenta con suficiente información para hormigones de alta resistencia.

Las precauciones indicadas son dirigidas principalmente a aquellos casos en que se desea verificar el cumplimiento de la resistencia de proyecto a la edad especificada.

### 2.- Referencias.

- Norma NCh 1171/1 Testigos de Hormigón endurecido Parte 1 – Extracción y Ensayo
- Norma NCh 170 Hormigón. Requisitos generales
- Especificación 8.201.1 Agregados Pétreos: Especificaciones Generales de Aridos para Morteros y Hormigones.
- Método 8.402.6 Hormigones: Extracción de Muestras de Hormigón Fresco.
- Método 8.402.7 Hormigones: Método para Determinar la Docilidad Mediante el Cono de Abrams
- Método 8.402.9 Hormigones: Método para Confeccionar y Curar en Obra Probetas de Hormigón Fresco.
- Método 8.402.10 Hormigones: Método para Refrentar Probetas.
- Método 8.402.11 Hormigones: Método de Ensaye a la Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas
- Método 8.402.13 Hormigones: Método de Ensaye a la Tracción por Hendimiento de Probetas Cilíndricas
- Método 8.402.14 Hormigones: Método para Determinar el Índice Esclerométrico en el Hormigón Endurecido

### 3.- Terminología.

**3.1 Testigo.** Probeta extraída de una estructura o elemento de hormigón endurecido, mediante el procedimiento establecido en este método.

**3.2 Resistencia a la Edad de Ensaye.** Valor expresado como resistencia, a la fecha del ensaye, en el caso de la compresión, aplicando solamente las conversiones por esbeltez y forma, como se establecen en el presente método.

**3.3 Resistencia de Proyecto.** Valor exigido en el proyecto, fundamentado en muestreo y ensayos según procedimientos normales.

**3.4 Resistencia a la Edad de Proyecto.** Resistencia llevada a la edad de ensaye especificada en el proyecto, según el procedimiento establecido en este método.

**3.5 Esbeltez del Testigo.** Cuociente entre la altura de ensaye del testigo cilíndrico y su diámetro.

**3.6 Altura Real del Testigo.** Altura original determinada antes de aserrar y/o refrentar sus extremos.

**3.7 Altura de Ensaye.** Altura del testigo rectificado y/o refrentado.

**3.8 Lote de Hormigón.** Volumen de hormigón de igual grado, dosificación y procedencia del agregado pétreo, representado por N muestras, que se somete a evaluación en forma parcial o total según se establezca.

**3.9 Otros Términos.** Otros términos empleados en este método aparecen definidos en el Método 8.202.1 y en la Norma NCh 170.

#### 4.- Aparatos.

**4.1 Testiguera.** Consta de una sonda para extraer testigos por taladrado o una sierra de disco, que deben contar con elementos de corte metálicos con bordes diamantados. Que sirva para cortar el hormigón con las tolerancias de las dimensiones establecidas en este método, y sin dañar la estructura del hormigón de la probeta por golpes o excesiva temperatura. Opérela de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

**4.2 Balanza.** Tendrá una capacidad superior a 20 kg y una resolución mínima de 1 g.

#### 5.- Forma y Dimensiones de las Probetas.

**5.1 Testigos para Medición de Espesores.** El diámetro del testigo para medición de espesores de elementos de hormigón, debe ser igual o superior a 50 mm. En el caso de testigos de pavimentos, el diámetro debe ser igual o superior a 100 mm.

#### 5.2 Testigos para Ensayes de Compresión.

- a) La forma y dimensión preferida es la del cilindro normal según se define en el Método 8.402.9, con dimensión básica  $d = 150$  mm de diámetro y altura igual a 300 mm.
- b) El diámetro del testigo debe ser igual o superior a  $2 D_n$ , siendo preferible que sea igual o superior a  $3 D_n$ ; en que  $D_n$  es el tamaño máximo nominal del árido grueso.
- c) La altura de ensaye debe ser tal que la esbeltez esté comprendida entre 1 y 2.
- d) No ensaye a la compresión los testigos cuya altura, después de aserrados, sea inferior a 0,95 veces su diámetro o cuya altura de ensaye sea inferior al diámetro, respetando los espesores máximos de refrentado establecidos en este método.

**5.3 Testigos para Ensayes de Hendimiento.** La forma y dimensión básica preferida para las probetas es la establecida en 5.2, excepto que la altura real del testigo debe ser igual o superior a 0,8 veces su diámetro.

#### 6.- Extracción.

**6.1 Condiciones Mínimas para Extracción.** Procure extraer los testigos del hormigón endurecido a una edad tan parecida como sea posible a la edad de proyecto. En todo caso para efectuar la extracción debe haberse cumplido, por lo menos, una de las siguientes condiciones:

- a) Resistencia de compresión igual o superior a 10 MPa, expresada como resistencia cúbica.
- b) Edad igual o superior a 14 días, excepto en pavimentos donde tiene que ser superior a 28 días.
- c) Edad y/o resistencia suficiente para descimbrar el elemento estructural, según la especificación particular de la obra.

**6.2 Ubicación del Testigo.** Extraiga el testigo desde una ubicación adecuada para que, según su propósito, represente significativamente la calidad del hormigón muestreado.

**Nota 1:** Es recomendable hacer uso de instrumentos detectores de las armaduras para evitar, en lo posible, el corte de barras de refuerzo principales.

**Nota 2:** Se debe evitar la extracción de testigos del hormigón endurecido en regiones del elemento estructural solicitadas por tensiones de tracción.

- a) Posición del eje longitudinal de la sonda extractora de testigos: Debe ser perpendicular a la superficie del elemento muestreado.
- b) Muestreo por ubicación dirigida: En caso de investigarse la resistencia de un hormigón dañado, del que hay dudas respecto a su comportamiento en servicio, la ubicación de la extracción debe ser determinada por el profesional responsable.
- c) Muestreo por ubicación al azar: En caso de extracción de testigos para aceptación del hormigón, ya sea por especificación, por falta de extracción de muestras de hormigón fresco, según NCh 170, o por resultados deficientes o dudosos en dicho muestreo, los puntos de extracción serán elegidos al azar.
  - Los testigos de losas deben estar separados en más de 60 cm de los bordes o líneas de interrupción de la faena de hormigonado.
  - El testigo de muro o pilar debe estar en el tercio central de la altura de hormigonado. No se debe extraer testigos para resistencia de proyecto en los 30 cm inmediatos a una junta fría. Si la altura de la capa de hormigonado (distancia entre juntas frías) es igual o menor a 1,5 m, no se debe extraer testigos en el primer y último 20% de dicha altura.

**Nota 3:** Si ello es necesario, la ubicación del punto de extracción debe considerar los aspectos estéticos de la perforación y su restauración.

- d) Distancia entre los testigos.
  - Los testigos vecinos en un elemento estructural deben estar separados en más de dos diámetros entre ellos, de modo que no exista riesgo de cortar dos veces una misma piedra.
  - En el caso de determinaciones de resistencias de proyecto, los testigos deben estar separados en tal forma que dos testigos no correspondan a hormigones de una misma amasada, excepto cuando sea aplicable lo señalado en 6.2 b).

### 6.3 Eliminación de Testigos en el Muestreo.

- a) Los testigos que resulten dañados durante la extracción no deben ser sometidos a ensayos mecánicos, dejando constancia en el acta de extracción de muestras.
- b) No elimine ninguna probeta testigo en la determinación de resistencia a la edad de ensaye
- c) Ensaye los testigos que presenten nidos de piedras, acumulación de mortero o inclusiones extrañas, pero deje constancia en el acta de extracción de testigos.
- d) Para ensayos de compresión rechace los testigos que presenten las siguientes anomalías:
  - Esbeltez real inferior a 0,95.
  - Armaduras paralelas al eje de carga.
  - Armaduras perpendiculares al eje de carga que tenga una sección igual o superior a 0,04 veces la sección de carga.
  - Desviación del diámetro de las caras mayor que 2,5 %, respecto del diámetro medio.
- e) Para ensayos de tracción por hendimiento rechace todo testigo con armadura en la sección de ensaye.

### 6.4 Programa de Muestreo. El programa de muestreo debe incluir, por lo menos, lo siguiente:

- a) Objetivo del muestreo.
- b) Procedimiento de la elaboración de probetas y ensayos (ver 6.5)
- c) Tamaño de los lotes.
- d) Número de testigos por lote.
- e) Medidas de seguridad del personal y de la estructura.
- f) Relleno de perforaciones y restauraciones.

**Nota 4:** Para decidir las bases del proceso de extracción y ensaye de los testigos, debe existir la necesaria comunicación entre las partes interesadas.

## 6.5 Procedimiento de Extracción de los Testigos.

- a) El procedimiento de extracción preferido para testigos de hormigón endurecido es por taladrado con sonda rotatoria.
- b) Procedimiento:
- Se puede extraer testigos de dimensiones mayores para después obtener el testigo por aserrado o taladrado en laboratorio.
  - El método de extracción no debe producir agrietamiento o daños visibles en la estructura y/o en el hormigón de la probeta.
  - El trozo debe tener una dimensión tal que la distancia entre su borde y el corte del testigo sea igual o superior a "d", siendo "d" el diámetro del testigo.
  - Las armaduras metálicas deben ser siempre aserradas, no se acepta cortar por calor o impactos.

**6.6 Marcado e Identificación.** Marque de inmediato los testigos extraídos, mediante cualquier procedimiento de grabado superficial indeleble, que no altere su tamaño, forma o características estructurales y de modo que puedan ser identificados en cualquier momento.

## 6.7 Transporte a Laboratorio.

- a) Proteja las probetas contra daños físicos, como roturas de aristas o superficies.
- b) Traslade los testigos de hormigones saturados en iguales condiciones.

**Nota 5:** Para el traslado se recomienda embalar los testigos marcados dentro de una caja, rodeados con arena fina o aserrín húmedo.

**6.8 Registro de Antecedentes e Instrucciones.** Registre todos los antecedentes de la extracción y las instrucciones necesarias para hacer los ensayos y emitir el informe de los resultados, según se establece en 13.

**6.9 Relleno de Huecos.** Tape a la brevedad posible, con hormigón de igual o superior calidad al empleado en la fabricación del elemento, el hueco dejado por la extracción del testigo. Además, debe disponer la colocación de las barras de reemplazo de las armaduras cortadas.

**Nota 6:** Es recomendable dejar constancia del programa de muestreo a la persona responsable de esta restauración y del plazo disponible para realizarla.

## 7.- Preparación y Refrentado.

**7.1 Inspección Visual Previa.** Al iniciar la preparación deje constancia de las características visibles más importantes del hormigón y que puedan afectar su resistencia mecánica, como segregación, fisuras, porosidad, daños por el taladrado o por el proceso de extracción, tamaño máximo del árido, presencia de armaduras u otros similares

**Nota 7:** Si es necesario, adjuntar fotografías o croquis.

## 7.2 Determinación del Diámetro y Altura Real del Testigo.

- a) El diámetro se obtiene promediando dos medidas perpendiculares entre sí, aproximadamente en la mitad de la altura del testigo; se expresa con aproximación a 1 mm.
- b) La altura real del testigo, particularmente para el caso de pavimento de hormigón, se determina antes de aserrar o refrentar, representando el espesor de la losa, como el promedio aritmético de cinco o más medidas de largos axiales del testigo. Haga una de estas medidas al centro de sus caras y el resto a lo largo de una circunferencia cuyo centro coincida con el del testigo y cuyo radio no sea menor que la mitad ni mayor que tres cuartos del radio de la probeta. Se expresa con aproximación a 1 mm.

### 7.3 Aserrado de las Superficies de Carga.

- a) Antes de ser refrentadas las caras de carga deben cumplir los siguientes requisitos y tolerancias:
- Planeidad: no deben existir resaltes mayores que 1 mm.
  - Paralelismo: la desviación entre las caras de carga debe ser inferior a 3 mm en 100mm, medida por lo menos en tres direcciones a 45°.
  - Perpendicularidad: la desviación de la cara de carga referida al plano perpendicular al eje del testigo debe ser inferior a 3 mm en 100 mm, medida por lo menos, en tres direcciones a 45°.
  - Diámetro: Los diámetros no deben diferir en más de 2,5 % del diámetro promedio del testigo medido según 7.2 a).
- b) Debe cortar las caras de carga con sierra disco en uno o ambos extremos de los testigos de compresión, en el ancho necesario, cuando:
- No cumplan con lo establecido en 7.3 a).
  - Sea necesario eliminar las armaduras ubicadas en las cabezas de los testigos.
  - Se requiera obtener probetas de ensaye con una esbeltez lo más próxima a 2.
  - Cuando no se puedan eliminar los defectos por un simple pulido.
- c) No se deben aserrar las caras para eliminar defectos propios del hormigón, tales como presencia de nidos.

### 7.4 Determinación de la Densidad del Testigo.

- a) Determine la masa del testigo por pesada al aire en la condición de humedad indicada en 8.1. Registre la pesada como A con aproximación a 1 g.
- b) Determine la densidad del testigo,  $\rho_t$  por desplazamiento en agua, usando el siguiente método:
- Determine la masa del testigo sumergido después de 1 h  $\pm$  10 min de inmersión. Registre como B con aproximación a 1 g.
  - Determine la masa del testigo al aire inmediatamente después de retirarlo de la inmersión, eliminando el agua superficial con un paño ligeramente húmedo. Registre como C aproximando a 1 g.
- c) Determine la densidad del testigo según la expresión:

$$\text{Densidad del testigo } \rho_t = \frac{A}{C - B} \times 1000$$

expresado en kg/m<sup>3</sup>, aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>

**Nota 8:** Cuando desee conocer la densidad del testigo que contenga armaduras, se descontará la masa y el volumen de las barras de acero que estén incluidas.

### 7.5 Refrentado.

- a) Refrente con pasta de azufre según el procedimiento establecido en el Método 8.402.10, en el menor plazo posible.
- b) El espesor de la capa de refrentado debe ser tan delgado como sea posible. En general este espesor debe ser de aproximadamente 3 mm y en ningún caso mayor que 8 mm.
- c) Las superficies refrentadas serán planas con una tolerancia de 0,05 mm a través de cualquier diámetro. Durante la operación de refrentado verifique la planeidad cada diez probetas, haciendo un mínimo de tres medidas en diferentes diámetros.
- d) Las superficies refrentadas deben ser perpendiculares al eje vertical del testigo en posición de ensaye. La desviación máxima tolerable es la equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm.

**Nota 9:** Cuando las superficies de carga después de un proceso de rectificado mecánico cumplan con estas condiciones, se puede suprimir el refrentado.

## 8.- Conservación y Transporte.

### 8.1 Conservación.

- a) Conserve el testigo, para determinar resistencia, en una situación lo más parecida posible al ambiente que rodea a la estructura.
- b) Si la estructura está permanentemente sumergida, conserve el testigo inmerso en agua saturada con cal y a la temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por lo menos durante 40 h anteriores al ensaye.
- c) Si la estructura permanece en contacto con el aire, aunque ocasionalmente pueda estar saturada de agua, conserve el testigo en el ambiente normal de la sala de laboratorio.

**Nota 10:** Es recomendable establecer los detalles de conservación en el programa de ensayos.

**Nota 11:** Si el testigo pertenece al caso 8.1 c) y es extraído antes de cumplir los 28 días, manténgalo hasta dicha edad en condición de curado normal según Método 8.402.9.

**8.2 Transporte al Ensaye.** Lleve los testigo a la prensa de ensaye conservando su condición de humedad. Elimine la humedad superficial; los testigos que se conservaron inmersos en agua manténgalos protegidos por telas húmedas.

**9.- Ensaye de Compresión.** Proceda de acuerdo con el Método 8.402.11.

**10.- Ensaye de Tracción por Hendimiento.** Proceda de acuerdo con el Método 8.402.13.

**11.- Factores de Conversión.** A continuación se establecen los factores de conversión por edad, esbeltez y forma de los testigos cilíndricos para ensayos de compresión.

**Nota 12:** Por el alcance de este método y la relativa inseguridad de los valores conocidos, no se consideran factores de corrección o conversión para, entre otros, transformar la resistencia de testigos horizontales o inclinados a verticales y/o para evaluar los efectos de las condiciones de exposición en la obra y de conservación en el laboratorio.

**11.1 Conversión por Edad.** Cuando se requiera comparar la resistencia del testigo con la resistencia de proyecto, se debe determinar experimentalmente con los mismos materiales y condiciones de la obra, el factor  $k_t$  de conversión por edad.

**Nota 13:** Si no se dispone de este factor, puede emplear los valores generalmente aceptados para condiciones normales, que se indican en el Anexo A.

**11.2 Conversión a Cilindro de Esbeltez Normal.** Primeramente, el valor del ensaye de rotura por compresión del testigo cilíndrico debe ser transformado al correspondiente de un cilindro de esbeltez normal 2; para ello se debe multiplicar por el factor de esbeltez  $k_e$  que se indica en la Tabla 8.402.8.A.

**TABLA 8.402.8.A**  
**FACTOR DE CONVERSION POR ESBELTEZ ( $k_e$ )**

Esbeltez testigo h/d	Factor de Conversión $k_e$
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

$$f_{cil} = k_e \times f_{test}$$

donde:

- h : Altura de ensaye.
- d : Diámetro promedio.
- $k_e$  : Factor de conversión por esbeltez.
- $f_{cil}$  : Resistencia de compresión del cilindro de esbeltez 2.
- $f_{test}$  : Resistencia a la rotura por compresión del testigo.

**Nota 14:** Los valores intermedios se pueden interpolar linealmente y se expresan con dos cifras decimales.

**11.3 Conversión de Probeta Testigo a Probeta Moldeada.** Convierta el valor de testigo cilíndrico de esbeltez 2 y dimensión básica normal a probeta moldeada cilíndrica, dividiendo por el factor 0,85. ( $f_{ciln mold} = f_{ciln} / 0,85$ )

**11.4 Conversión a Probeta Cúbica Normal (200 mm).** Modifique por forma el resultado del cilindro moldeado, obtenido según 11.3, multiplicando por el factor de forma  $k_f$  que se indica en la Tabla 8.402.8.B.

$$f_{cubo 200} = f_{cil mold} \times k_f$$

donde:

$f_{cubo 200}$ : Resistencia a compresión del cubo normal de 200 mm de arista.

$k_f$ : Factor de conversión de forma desde probeta cilíndrica a probeta cúbica.

**TABLA 8.402.8.B**  
**FACTOR DE FORMA ( $k_f$ )**

Resistencia cilíndrica, MPa	≤ 20	25	30	35	40	45	50
Factor $k_f$	1,25	1,20	1,17	1,14	1,13	1,11	1,10
Resistencia cúbica, MPa	< 25	30	35	40	45	50	55

**Nota 15:** Se puede interpolar para valores intermedios

## 12.- Cantidad de Testigos e Interpretación de Resultados.

**12.1 Bases para la Extracción.** Considere extraer testigos cilíndricos en los siguientes casos:

- a) Cuando el ensaye de compresión en probetas normales del hormigón fresco entregue resultados menores que  $f_p - m$ , siendo "m" el margen de seguridad establecido.
- b) Si faltan muestras del hormigón fresco con relación a lo establecido en la especificación particular de la obra o en la NCh 170.
- c) Cuando se prescribe recepción de la obra por medio de testigos.
- d) Cuando se desea conocer la resistencia presente (actual) del hormigón.

## 12.2 Cantidad Mínima de Testigos.

- a) En los casos (a) y (b) de 12.1, extraiga 3 o más testigos por cada sector correspondiente a la muestra de hormigón fresco defectuosa o en duda.
- b) En la recepción por testigos 12.1 c), extraiga el número de testigos determinados en la especificación particular de la obra.
- c) En el caso 12.1 d), el profesional responsable del estudio de la estructura debe determinar el número de testigos por extraer.

**13.- Presentación del Informe.** El informe de los ensayos de compresión contendrá a lo menos:

- a) Número o marca de identificación.
- b) Dimensiones de la sección de carga.
- c) Altura h del testigo, antes de aserrar y después del refrentado.
- d) Carga de Rotura del testigo (N)
- e) Resistencia a la rotura antes y después de aplicar el conjunto de factores de conversión, en la forma establecida en el presente método.
- f) Aproxime los resultados a 0,1 MPa.
- g) Indique la dirección de la aplicación de la carga, referida a la vertical de vaciado del hormigón.
- h) Deje especial constancia de cualquier anomalía de la probeta ensayada.
- i) Deje constancia de la condición de humedad del testigo en el momento del ensaye.
- j) Tamaño máximo nominal de los áridos del testigo ( $D_n$ ).
- k) Incluya los antecedentes del registro de laboratorio que puedan tener importancia en la toma de decisiones.
- l) Antecedentes de la obra.
- m) Muestreo:
  - Procedimiento de extracción y observaciones al proceso.
  - Volumen del hormigón representado.
  - Forma de transporte al laboratorio.
- n) Antecedentes del Hormigón:
  - Edad y requisitos.
  - Procedencia de los materiales.
  - Uso del hormigón.
  - Nombre del informante en obra, etc.

**Nota 16:** Para el caso de recepción por testigos se pueden omitir aquellos datos que estén sancionados en la especificación particular de la obra.

## ANEXO A

Este anexo se agrega en carácter de información.

### Factores de Conversión por Edad ( $k_t$ )

Emplee los valores de Tabla A1 - 8.402.8. A.

**TABLA A1 8.402.8.A**  
**FACTORES DE CONVERSION POR EDAD ( $k_t$ )**

Días t	$K_t$	Días t	$K_t$	Días t	$K_t$
14	1,17	26 – 27	1,01	56 – 60	0,89
15	1,15	28	1,00	61 – 66	0,88
16	1,13	29 – 30	0,99	67 – 73	0,87
17	1,11	31 – 32	0,98	74 – 80	0,86
18	1,10	33 – 34	0,97	81 – 90	0,85
19	1,08	35 – 36	0,96	91 – 101	0,84
20	1,07	37 – 38	0,95	102 – 115	0,83
21	1,06	39 – 41	0,94	116 – 133	0,82
22	1,05	42 – 44	0,93	134 – 155	0,81
23	1,04	45 – 47	0,92	156 – 186	0,80
24	1,03	48 – 51	0,91	187 – 228	0,79
25	1,02	52 – 55	0,90	229 – 286	0,78

Estos valores se originan de la expresión siguiente:

$$k_t = \frac{3,69 + t^{2/3}}{1,40 \cdot t^{2/3}}$$



## 8.402.9 HORMIGONES: METODO PARA CONFECCIONAR Y CURAR EN OBRA PROBETAS DE HORMIGON FRESCO\*

### 1.- Alcance y Campo de Aplicación.

1.1 Este método establece los procedimientos para confeccionar y curar en obra las probetas de hormigón fresco que se destinan a ensayos de compresión y tracción por flexión o por hendimiento.

1.2 Se aplica a probetas de hormigón fresco confeccionadas en obra (la confección y curado de probetas en laboratorio se define en el Método 8.402.15).

\* El Método 8.402.9 es una adaptación de la norma NCh 1017 E of. 75.

### 2.- Terminología.

2.1 **Molde Cúbico.** Molde cuya forma interior es un cubo abierto por una de sus caras, cuyas características se especifican en 3.1 de este método.

2.2 **Molde Cilíndrico.** Molde cuya forma interior es un cilindro recto abierto por su base superior, cuyas características se especifican en 3.1 de este método.

2.3 **Molde Prismático.** Molde cuya forma interior es un prisma recto de sección cuadrada abierto por una de sus caras mayores, cuyas características se especifican en 3.1 de este método.

2.4 **Símbolos y Designaciones.** Serán los que se resumen en la Tabla 8.402.9.A.

**TABLA 8.402.9.A  
SIMBOLOS Y DESIGNACIONES**

Símbolos	Designaciones
d	Dimensión básica interior del molde
D <sub>n</sub>	Tamaño máximo nominal del árido
A	Asentamiento medido en el cono de Abrams

### 3.- Aparatos.

#### 3.1 Moldes.

- El interior tendrá forma cúbica, cilíndrica o prismática.
- Los moldes por utilizar estarán en función del tipo de ensaye, de acuerdo con lo que se indica en la Tabla 8.402.9.B.

**TABLA 8.402.9.B  
MOLDES EN FUNCION DEL ENSAYE**

Características del Molde	Ensaye
Cúbico Cilíndrico Prismático (viga)	Compresión Compresión y tracción por hendimiento Tracción por flexión, compresión

- c) Serán metálicos u otro material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón, y que no se deformen o pierdan su forma durante el armado, ajuste, confección de probetas o manipulaciones posteriores.

**Nota 1:** Cuando se empleen planchas metálicas, para evitar las deformaciones y cumplir con las tolerancias prescritas, se recomienda usar espesores mayores que 6 mm en cilindros y de 10 mm en cubos y prismas.

- d) Deberán ser estancos a la lechada.
- f) Las superficies interiores serán lisas, sin saltaduras, hendiduras o resaltes; las superficies planas deberán ser perfectamente planas, con una tolerancia de 0,05 mm en 100mm, medida por lo menos en tres direcciones diferentes. Las superficies curvas serán torneadas para asegurar la forma cilíndrica.
- g) Las superficies interiores adyacentes deberán ser perpendiculares entre sí y las opuestas paralelas. La desviación máxima tolerable será la equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm entre caras paralelas, y una desviación de 1 mm en 200 mm con relación al ángulo recto de las caras concurrentes.
- h) Dimensiones:
- La dimensión básica de las probetas (d) será la que resulte de aplicar la siguiente fórmula:

$$d \geq 3 D_n ;$$

siendo  $D_n$  = tamaño máximo nominal del árido.

**Nota 2:** Para los efectos de este método se considerará como tamaño máximo nominal del árido, a la abertura, inmediatamente inferior a la del tamaño máximo absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% de la masa del árido. Si pasa menos del 90% de la masa del árido, considere el tamaño máximo nominal igual al tamaño máximo absoluto, es decir a la abertura del menor tamiz que deja pasar el 100% del árido.

- Las aristas interiores de los moldes cúbicos tendrán como dimensión básica d.
- Los moldes cilíndricos tendrán un diámetro interior de dimensión básica d y altura 2 d.
- Los moldes prismáticos tendrán sección cuadrada de arista interior de dimensión básica d y longitud igual o mayor que  $3 d + 50$  mm, siendo preferida la dimensión 4 d.
- Elija la dimensión básica interior d entre 100, 150, 200, 250 y 300 mm, considerando como normal la dimensión  $d = 200$  mm para los moldes cúbicos y la dimensión  $d = 150$  mm para los moldes cilíndricos y prismáticos. La tolerancia admisible es de  $\pm 1$  mm para las dimensiones.

### 3.2 Aparatos para Compactar.

- a) Varilla Pisón. Será una barra cilíndrica lisa de acero de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.
- b) Vibradores Internos. Tendrán acoplamiento rígido o flexible y su frecuencia de vibración será igual o superior a  $100 \text{ s}^{-1}$  (6.000 pulsaciones/min).  
El diámetro del elemento vibrador será igual o inferior a 0,25 d y no sobrepasará los 40 mm; la longitud de acoplamiento será igual o superior a 500 mm.
- c) Vibradores Externos. Serán de mesa o de placa y su frecuencia de vibración será igual o superior a  $50 \text{ s}^{-1}$  (3.000 pulsaciones/min).

### 4.- Requisitos Previos al Moldeado.

**4.1 Extracción de Muestras.** Efectúe la extracción de muestras del hormigón fresco de acuerdo con lo dispuesto en el Método 8.402.6.

**4.2 Eliminación del Sobretamaño de los Aridos.** Si ocasionalmente se observan partículas del árido superiores a las dimensiones especificadas en 3.1 h), éstas deben ser eliminadas.

**4.3 Aceitado de Moldes.** Cubra las superficies de los moldes que quedarán en contacto con el hormigón con una película delgada de aceite mineral, o con cualquiera otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con los componentes del hormigón.

## 5.- Moldeado de Probetas.

**5.1 Lugar para Moldear.** Moldee las probetas en el mismo lugar donde dejará las muestras para el curado inicial.

**5.2 Preparación de una Base de Apoyo.** Antes de moldear prepare una base de apoyo para los moldes, de modo que éstos queden nivelados y protegidos de choques y vibraciones.

**5.3 Vaciado.** Vacíe cuidadosamente el hormigón en los moldes procurando evitar segregaciones, en un número de capas tal como se indica en 5.4 c), d) y e). Mantenga uniforme la superficie de cada capa empleando la varilla pisón.

## 5.4 Compactación.

- a) Efectúe la compactación por apisonado o por vibrado; el vibrado podrá ser interno o externo.
- b) Seleccione el procedimiento según el asentamiento del cono de Abrams, de acuerdo con la Tabla 8.402.9.C, excepto cuando se establezca un procedimiento determinado en las especificaciones técnicas correspondientes.

**TABLA 8.402.9.C**  
**PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN SEGUN EL ASENTAMIENTO**  
**DEL CONO DE ABRAMS**

Asentamiento a (cm)	Procedimiento de Compactación
a < 5	Vibrado
5 ≤ a ≤ 10	Apisonado o vibrado
a > 10	Apisonado

La compactación de las probetas debe ser lo más parecida posible a la compactación del hormigón usada en la construcción. Si se usa otro procedimiento o no se cumple lo prescrito en la TABLA 8.402.9.C, se debe dejar constancia especial en el informe.

- c) Apisonado
  - Coloque el hormigón en dos capas de espesor similar en los moldes cúbicos y prismáticos, y en tres capas en los moldes cilíndricos.
  - Apisone cada capa con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección del molde, a razón de 8 golpes por cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie.
  - Apisone la capa inferior en toda su altura sin golpear el fondo del molde.
  - Apisone la o las capas superiores de modo que la varilla pisón penetre en la capa subyacente en aproximadamente 2 cm.
  - Después de apisonar cada capa, pase una plana entre el hormigón y los costados interiores de los moldes cúbicos o prismáticos y golpee suavemente los costados en todos los tipos de moldes, para cerrar los vacíos dejados por la varilla pisón.
- d) Vibrado Interno.
  - Coloque el hormigón en una capa en los moldes cúbicos y prismáticos, y en dos capas de espesores similares en los moldes cilíndricos.
  - Vibre la capa de los moldes cúbicos y las dos capas de los moldes cilíndricos con una inserción en la zona central. Vibre la capa de los moldes prismáticos con inserciones a distancias aproximadas a d, a lo largo de una línea longitudinal central si d es menor o igual que 200 mm, y alternadamente en zig-zag, en dos líneas longitudinales, si d es mayor que 200 mm.

- Introduzca el vibrador verticalmente en la capa inferior, hasta aproximadamente 2 cm del fondo del molde, y en la capa superior, hasta que penetre aproximadamente 2 cm en la capa subyacente. Realice la operación sin tocar las caras ni el fondo del molde con el vibrador.
- Retire el vibrador tan lentamente como sea posible, rellenando con hormigón fresco en la última capa, de modo de mantener el molde constantemente lleno.
- Vibre solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón.

**e) Vibrado Externo.**

- Fije firmemente el molde al elemento vibrador, manualmente o con algún dispositivo mecánico, de modo que ambos vibren solidariamente.
- Coloque el hormigón en una sola capa, manteniendo en todo momento un exceso de hormigón por sobre el borde del molde.
- Vibre el tiempo necesario para asegurar la compactación, presionando simultáneamente la superficie del hormigón y solamente hasta que una capa delgada de lechada cubra esa superficie.

**Nota 3:** El tiempo de vibrado es variable y es función, entre otros, de la docilidad del hormigón, del tipo de vibrador y de la forma y dimensiones del molde empleado.

**5.5 Enrase y Alisado.** Enrase el hormigón superficial con la varilla pisón, con un movimiento de aserrado iniciado desde el centro de la sección de la probeta y evitando separar el mortero del árido grueso; finalmente, alise la superficie.

**5.6 Marcado de las Probetas.** Marque las probetas mediante cualquier procedimiento de grabado superficial indeleble que no altere el tamaño, forma o características estructurales de las probetas, de modo que puedan ser identificadas en cualquier momento.

## **6.- Curado**

**6.1 Curado Inicial.** Evite la evaporación y mantenga la temperatura de las probetas entre 16°C y 27°C, desde el momento mismo del moldeado, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Cubra la superficie del hormigón con láminas de material impermeable (metal, plástico u otro).
- b) Inmediatamente, proteja el conjunto de probeta y molde por todos sus lados con arena, aserrín o arpilleras húmedas, dentro de un envase adecuado hasta el momento del desmolde.

**6.2 Desmolde de las Probetas.** Desmolde las probetas cúbicas y cilíndricas después de transcurridas 20 horas y las prismáticas, después de 44 h de moldeadas, siempre que las condiciones de endurecimiento permitan un desmolde sin causar daños a la probeta.

**6.3 Curado de las Probetas Desmoldadas.** Coloque las probetas a la temperatura de 20°C ± 3°C, en la condición de humedad que se indica:

- a) Probetas cúbicas y cilíndricas. Sumérlas en agua tranquila y saturada con cal, entiérrelas en arena húmeda o colóquelas en una cámara con humedad relativa igual o superior a 90%.
- b) Probetas prismáticas. Sumérlas en agua tranquila y saturada con cal o colóquelas en una cámara con humedad relativa igual o superior a 90%, sumergiéndolas en agua 24 h antes de ensayar.

## **6.4 Traslado al Laboratorio.**

- a) Proteja las probetas de golpes o raspaduras que puedan alterar sus aristas y superficies, y manténgalas saturadas de humedad hasta su recepción en el laboratorio.
- b) Traslade las probetas en los plazos siguientes:
  - En sus moldes: las probetas cúbicas y cilíndricas después de 20 h, y las prismáticas, después de 44 h de moldeadas, siempre que las condiciones de endurecimiento permitan el traslado sin causar daños a las probetas.
  - Desmoldadas: en un plazo igual o superior a 5 días.

c) Para el traslado embale las probetas rodeadas de arena húmeda dentro de una caja de madera.

**6.5 Curado en el Laboratorio.** Almacene las probetas inmediatamente después de recibidas, hasta el momento del ensaye, en las condiciones de humedad y temperatura prescritas en 6.3.

**6.6 Protección al Ensayar.** Retire las probetas del curado inmediatamente antes de ensayar, protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que deban ser colocadas en la máquina de ensaye.

## 7.- Refrentado.

**7.1 Probetas Cilíndricas.** Refrente las caras planas de las probetas cilíndricas según Método 8.402.10.

**7.2 Probetas Cúbicas y Prismáticas.** Refrente las superficies que entrarán en contacto con las piezas de aplicación de carga de la máquina de ensaye, según Método 8.402.10, cuando no cumplan con las tolerancias de planeidad y ángulos, especificadas en 3.1 f) y g) de este método.

**8.- Registro.** De cada serie de probetas lleve un registro en que se indique lo siguiente:

**8.1 Identificación de la Obra.** Nombre del contrato y contratista.

### 8.2 Muestreo.

- a) Fecha y hora de la extracción de la muestra.
- b) Número correlativo de la muestra para la obra.
- c) Tipo de muestra y lugar de extracción.
- d) Resultado del ensaye de docilidad.
- e) Procedimiento de compactación y curado de las probetas.
- f) Tamaño de la muestra (tipo y cantidad de probetas).

### 8.3 Antecedentes del Hormigón.

- a) Resistencia y nivel de confianza especificados.
- b) Ensaye(s) solicitado(s).
- c) Dosificación y procedencia de los materiales.
- d) Características del mezclado.
- e) Características y propiedades del hormigón fresco.
- f) Forma de transporte, colocación y compactación.
- g) Tipo y ubicación del elemento hormigonado.
- h) Nombre y firma del laboratorista.

**8.4 Otros Antecedentes.** Cualquiera otra información específica relativa a las características del hormigón o a los requisitos de su empleo.



## 8.402.10 HORMIGONES: METODO PARA REFRENTAR PROBETAS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos para refrentar probetas de hormigón destinadas a ensayos de compresión y tracción. Se deberá aplicar a probetas cuyas superficies de contacto con las prensas de ensaye no cumplan con los requisitos de planeidad y/o paralelismo entre caras, especificados en los Métodos 8.402.8, 8.402.9, 8.402.11, 8.402.12, y 8.402.13 según corresponda.

Es aplicable a probetas cúbicas, cilíndricas o prismáticas, moldeadas en hormigón fresco, como también a testigos extraídos del hormigón endurecido

\*El Método 8.402.10 es una adaptación de la norma Nch 1172-78.

### 2.- Terminología.

**2.1 Superficie de Carga.** Superficie de las caras de una probeta de hormigón que estarán en contacto con las piezas de apoyo y carga de la prensa durante el ensaye.

**2.2 Refrentado.** Procedimiento de aplicación y moldeo de una capa de material (capa de refrentado) sobre la superficie de carga en la probeta de hormigón, destinado a corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre caras, con el fin de obtener el mejor ajuste posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensaye y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

**2.3 Capa de Refrentado.** Capa de material aplicado y moldeado que recubre una superficie de carga en una probeta de hormigón.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Placas.** Deberán ser de metal, vidrio o cualquier otro material rígido, no absorbente, químicamente inerte con los componentes del material de refrentado y cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La superficie de contacto debe ser plana con una tolerancia de planeidad de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí.
- b) El largo y ancho deben ser a lo menos 30 mm mayores que las respectivas dimensiones de la superficie por refrentar.
- c) El espesor de las placas de metal debe ser igual o mayor que 8 mm, y el de las de vidrio igual o mayor que 6 mm.
- d) Si se requiere un rebaje en las placas metálicas, el espesor de la placa en la zona rebajada debe ser igual o mayor que 8 mm y el rebaje menor o igual que 8 mm.

### 3.2 Dispositivos para Refrentar Cilindros para Ensaye de Compresión.

- a) Aparato vertical (ver Lámina 8.402.10.A), compuesto por una base provista de una placa horizontal con un rebaje circular rectificado y un perfil metálico u otro dispositivo de alineación vertical que permita asegurar la perpendicularidad del eje de la probeta.
- b) Anillos metálicos, ajustables a los extremos del cilindro y que se emplean en conjunto con una placa.
- c) Aparato horizontal (ver Lámina.8.402.10.A), compuesto por una base de apoyo para colocar la probeta horizontalmente y un par de placas paralelas dispuestas verticalmente en ambos extremos. Las placas deben estar provistas de mordazas a fin de ajustarse a ambos extremos de la probeta y conformar un molde que se pueda rellenar por vaciado.

**3.3 Dispositivo para Refrentar Cubos para Ensaye de Compresión.** Estará compuesto por un juego de cuatro perfiles de acero de sección cuadrada de 25 x 25 mm y 250 mm de longitud por emplear en conjunto con una placa.

**3.4 Dispositivo para Refrentar Testigos para Ensaye de Tracción por Hendimiento (Ver Lámina 8.402.10 A).** Será un molde acanalado, compuesto por una plancha metálica curva, de espesor 5 mm, con la forma de un tercio de la pared de un cilindro y una base de apoyo, que permita mantenerla firmemente en posición horizontal.

**3.5 Otros Dispositivos.** Se podrán emplear otros dispositivos similares que permitan obtener capas de refrentado que cumplan con los requisitos que se indica en 4.

### **3.6 Aparatos para Fusión de Mezcla de Azufre.**

- a) Recipiente de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido. Debe estar provisto de control automático de temperatura.
- b) Cucharón o similar, de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido, cuya capacidad concuerde con el volumen de material por emplear en una capa de refrentado.
- c) Sistema de ventilación, campana con extractor de aire para eliminar los gases de la fusión.

## **4.- Requisitos de la Capa de Refrentado.**

**4.1 Forma.** La superficie de carga deberá quedar perfectamente plana, con una tolerancia de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí y perpendicular al eje vertical de la probeta en posición de ensaye. La tolerancia será una desviación máxima equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm.

### **4.2 Superficie.**

- a) En las probetas para ensaye de compresión debe ser igual o ligeramente mayor que la superficie de carga sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm.
- b) En las probetas para ensaye de tracción por flexión o por hendimiento, en que las superficies de carga corresponden a una línea, deben tener una longitud igual o ligeramente mayor a dicha línea sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm y un ancho de  $20 \pm 5$  mm.
- c) El material de refrentado debe desarrollar una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.
- d) Moldee la capa de refrentado tan delgada como sea posible; en general es aconsejable un espesor de aproximadamente 3 mm, pero en ningún caso mayor que 8 mm.

**5.- Refrentado de Probetas Recién Moldeadas.** Es aplicable a probetas cilíndricas para ensayos a compresión y debe efectuarse de acuerdo con uno de los dos procedimientos siguientes:

### **5.1 Procedimiento con Pasta de Cemento**

- a) Prepare una pasta dura de cemento de alta resistencia de acuerdo con NCh 148 y con una consistencia plástica, de preferencia normal de acuerdo con NCh 151.
- b) Colocación:
  - Unte las placas de refrentado con una capa delgada de aceite mineral o cualquier otro material que evite la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
  - Retire los cilindros de su curado inicial, sin desmoldarlos, a una edad de 2 a 4 h desde su moldeo.
  - Elimine la lechada superficial mediante raspado.
  - Moldee cada capa de refrentado colocando una porción del material en el centro de la superficie de carga y prensando con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del molde, eliminando el exceso de pasta.
  - Evite la formación de burbujas de aire.
  - Devuelva cada cilindro a su curado inicial, manteniendo la placa en contacto con la capa de refrentado.

## 5.2 Procedimiento con Mortero de Cemento.

- a) Prepare una mezcla seca – plástica, compuesta por una parte en masa de cemento de fraguado inicial rápido y con un grado de resistencia final alta de acuerdo con NCh 148, una parte en masa de arena fina seca, que pase por el tamiz de 1,25 mm y cumpla con el Método 8.201.1 y 0,45 partes de agua. Deje reposar por un período de 1 a 2 h y remezcle antes de colocar, a fin de reducir al mínimo el efecto de las retracciones.
- b) Coloque de acuerdo con 5.1 b).

**6.- Refrentado de Probetas Desmoldadas y Testigos.** Es aplicable a cubos, cilindros y vigas desmoldadas o testigos de hormigón endurecido para ensayos de compresión, tracción por flexión y tracción por hendimiento. Debe efectuarse de acuerdo con uno de los procedimientos que se indican a continuación.

### 6.1 Procedimiento con Pasta de Azufre.

- a) Prepare el material como sigue:
  - Elabore una mezcla seca compuesta de 55 a 70 partes en masa de azufre en polvo y 30 a 45 partes en masa de material granular que pase por el tamiz de 0,315 mm. Emplee arcilla refractaria molida o arena silícica (pumacita) como material granular.
  - Caliente la mezcla hasta su fusión a una temperatura controlada entre 130 y 145°C sin exponer a fuego directo que pueda inflamar la mezcla, y expulse al exterior los gases que resultan de la fusión.

**Nota 1:** La mezcla puede inflamarse por sobrecalentamiento; si esto ocurre extinga la llama tapando el recipiente.

- En ningún caso recaliente el mismo material más de cinco veces; la mezcla pierde resistencia y fluidez por contaminaciones y volatilización.
  - Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.
- b) Coloque como se indica a continuación:
    - Unte las placas y superficies de los dispositivos que entran en contacto con el material de refrentado con una delgada capa de aceite mineral o de cualquier otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
    - Retire las probetas o testigos de su curado con la antelación suficiente para que el material de refrentado desarrolle la resistencia requerida hasta el momento del ensaye.
    - Elimine la lechada superficial y partículas sueltas de las superficies de carga mediante una escobilla de alambre o similar.
    - Seque las superficies de carga (p. ej. mediante una corriente de aire caliente), cuidando de no extender el secado más de lo estrictamente necesario para asegurar la adherencia del material a la probeta.
    - Moldee la capa de refrentado, según el tipo de probeta y el aparato por emplear, como se indica:
      - Placas: coloque una porción de material en el centro de la superficie de carga y prénsela con la placa, girándola suavemente y eliminando los excesos de material. En el caso de vigas, disponga maestras a ambos costado de la superficie de carga, a fin de nivelar la placa.
      - Dispositivo vertical: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material en el rebaje de la placa, apoye una generatriz del cilindro en la guía vertical y hágalo descender hasta presionar el material.
      - Anillos: nivele y ajuste cada anillo en un extremo del cilindro de modo que su borde superior sobresalga aproximadamente 3 mm sobre la superficie de carga. Distribuya uniformemente el material en el molde hasta topar el borde del anillo y prénselo uniformemente con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del anillo y elimine excesos de material.
      - Dispositivo horizontal: nivele el aparato, coloque el cilindro ajustando sus extremos con las mordazas, tapone las juntas para evitar pérdidas y rellene ambos extremos por vaciado.

- Perfiles: nivele la placa y conforme un molde con los cuatro perfiles, con la forma de un cuadrado que deje un espacio libre menor que 3 mm entre los perfiles y las aristas del cubo. Distribuya uniformemente el material sobre la placa y presione el cubo sobre él.
- Molde acanalado: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material a lo largo del fondo del molde, coloque el testigo horizontalmente y presiónelo sobre el material.
- Devuelva las probetas a su curado o bien manténgalas húmedas protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que deban colocarse en la máquina de ensaye.

## 6.2 Procedimiento con Pasta de Yeso.

- a) El material se aplica como sigue:
- Prepare una pasta densa con yeso de alta resistencia y una cantidad de agua mayor que el 26% y menor que el 30% del yeso, en masa.
  - Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento de ensaye, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa, verificada de acuerdo con NCh 144.
- b) Para colocar siga el procedimiento indicado en 6.1 excepto que las superficies de carga deben mantenerse en estado saturado superficialmente seco y proteja al yeso del contacto directo con agua.

## 7.- Inspección de las Capas de Refrentado.

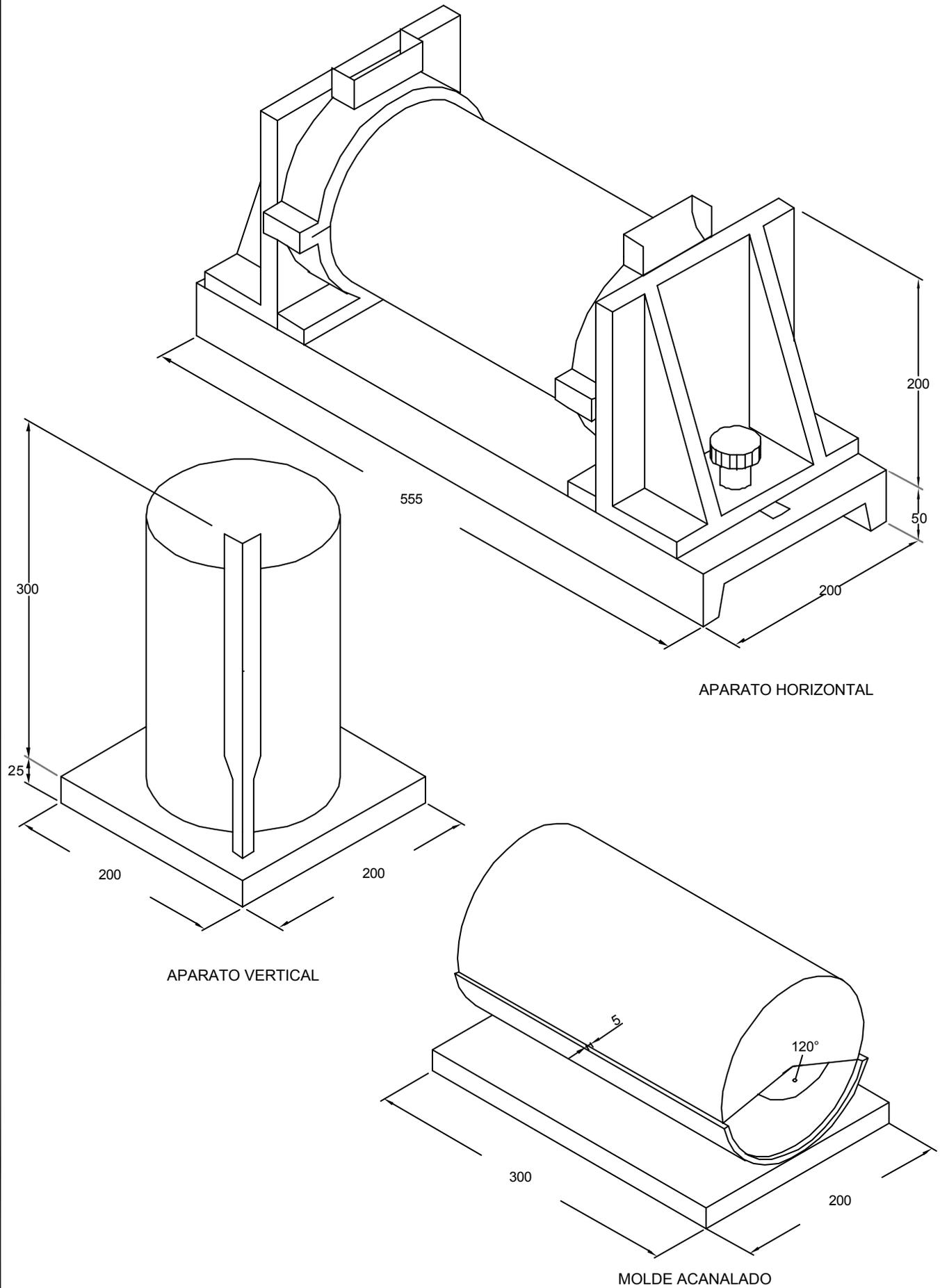
**7.1 Adherencia.** Golpee ligeramente las capas de refrentado con el mango de un cuchillo, o similar, antes de colocar en la prensa de ensaye; si emite un sonido hueco, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar.

## 7.2 Planeidad y Perpendicularidad.

- a) Cuando emplee pastas de yeso o cemento, inspeccione todas las capas de refrentado.
- b) Cuando emplee mezcla de azufre, para cada aparato de refrentado en uso, inspeccione al azar a lo menos una capa de refrentado por cada diez.

**Nota 2:** Emplee una escuadra de precisión con un pequeño calado para no topar el borde de la capa de refrentado.

- c) Cuando una capa de refrentado no cumpla con los requisitos de forma especificados en 4.1, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar, e inspeccione el aparato por usar (planeidad de placas, ángulos de dispositivos de alineación).



APARATO HORIZONTAL

APARATO VERTICAL

MOLDE ACANALADO

ESCALA 1:5

Nota: Todas las dimensiones en milímetros.



## **8.402.11 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA COMPRESION DE PROBETAS CUBICAS Y CILINDRICAS\***

### **1.- Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método establece el procedimiento para efectuar el ensaye a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón.

**1.2** Se aplica al ensaye de probetas preparadas según los Métodos 8.402.8, 8.402.9 ó 8.402.15, según corresponda.

\* El Método 8.402.11 es una adaptación de la norma NCh 1037 of. 77.

### **2.- Aparatos.**

#### **2.1 Prensa de Ensaye.**

- a) Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensaye sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.
- b) Tendrá un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.
- c) Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, y no se aceptarán desviaciones con respecto al plano superiores a 0,015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
- d) La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga será igual o superior a la arista o diámetro de la probeta.

**Nota 1:** En caso de usar placas suplementarias para aumentar la dimensión de las placas de carga de la prensa, éstas tendrán superficies rectificadas conformes a 2.1 c), espesor igual o superior a 50 mm y dureza igual o superior a la de las placas de la prensa.

- e) La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
- f) La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de  $\pm 1\%$  de la carga dentro del rango utilizable de la(s) escala(s) de lectura.  
En general el rango utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura.  
Se deben contrastar las prensas de ensaye, las de uso habitual por lo menos una vez al año y las de faena al inicio de la obra.
- g) La prensa contará con dispositivos de regulación de la carga según lo especificado en 3.4 e).

**2. Regla Graduada.** Estará graduada en mm, y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm.

**2.3 Balanza.** Tendrá una capacidad igual o superior a 25 kg y una resolución mínima de 1 g.

### **3.- Procedimiento.**

**3.1 Acondicionamiento de las Probetas.** Acondicione las probetas para el ensaye según los Métodos 8.402.8, 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda.

#### **3.2 Medición de Probetas Cúbicas.**

- a) Coloque el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.
- b) Mida los anchos de las cuatro caras laterales del cubo ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ), aproximadamente en el eje horizontal de cada cara (ver Lámina 8.402.11.A, Fig. 1a).
- c) Mida las alturas de las cuatro caras laterales ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  y  $h_4$ ) aproximadamente en el eje vertical de cada cara (ver Lámina 8.402.11.A Fig. 1c).

- d) Expresar estas medidas en mm con aproximación a 1 mm.
- e) Determinar la masa de la probeta con una aproximación igual o inferior a 50 g.
- f) En el caso de probetas por refrentar, medir y pesar antes del refrentado.

### 3.3 Medición de Probetas Cilíndricas.

- a) Medir dos diámetros perpendiculares entre sí ( $d_1$  y  $d_2$ ), aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta (ver Lámina 8.402.11.A Fig. 1b).
- b) Medir la altura de la probeta en dos generatrices opuestas ( $h_1$  y  $h_2$ ) antes de refrentar (ver Lámina 8.402.11.A Fig. 1d).
- c) Expresar estas medidas en mm con aproximación a 1 mm.
- d) Determinar la masa de la probeta antes de refrentar con una aproximación igual o inferior a 50 g.

### 3.4 Ensaye

- a) Limpiar la superficie de las placas y de las caras de ensaye de la probeta.
- b) Colocar la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
- c) Posición de las probetas.
  - Colocar las probetas cúbicas con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.
  - Colocar las probetas cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas.
- d) Asentar la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
- e) Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme, que permita cumplir las siguientes condiciones:
  - Alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 s.

**Nota 2:** Puede considerarse que hay franca rotura cuando el indicador de carga retrocede bajo el 90% de la carga máxima y hay claras manifestaciones de agrietamiento de la probeta.

- No superar la velocidad de 0,35 N/mm<sup>2</sup>/s.
- f) Cuando se conoce aproximadamente la carga de rotura, será permisible aplicar la primera mitad de la carga a una velocidad mayor que la especificada en 3.4 e).
- g) Una vez fijada la velocidad, especialmente en la segunda mitad de la carga, no hacer modificaciones de ella hasta el término del ensaye.
- h) Registrar la carga máxima P, expresada en N.

## 4.- Expresión de los Resultados.

### 4.1 Resistencia a Compresión.

- a) Calcular la sección de ensaye según las fórmulas siguientes:
  - Probetas cúbicas (ver Lámina 8.402.11.A, Figura 1a)

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \times \frac{(b_1 + b_2)}{2}$$

- Probetas cilíndricas (ver Lámina 8.402.11.A, Figura 1b)

$$S = 0,196 \times (d_1 + d_2)^2$$

**Nota 3:** La fórmula es una simplificación de :

$$S = \frac{\pi}{4} \times \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$$

- b) Calcule la resistencia a la compresión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f = \frac{P}{S}$$

donde :

f : Tensión de rotura, (MPa)

P : Carga máxima aplicada por la máquina de ensaye, (N).

S : Sección de ensaye, medida a partir de la dimensión básica real, (mm<sup>2</sup>)

- c) Exprese los resultados en MPa con una aproximación igual a 0,1 MPa.

**Nota 4:** Si la prensa de ensaye entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: 1 MPa = 10,1972 kgf/cm<sup>2</sup>

#### 4.2 Densidad Aparente.

- a) Calcule el volumen V de la probeta según la fórmula siguiente:

$$V = S \times h$$

donde:

S : Sección de ensaye, (mm<sup>2</sup>)

h : Altura promedio, (mm)

- b) Calcule la densidad aparente de la probeta como el cociente entre masa y volumen.

- c) Exprese el resultado en kg/m<sup>3</sup>, con una aproximación igual o inferior a 10 kg/m<sup>3</sup>.

**Nota 5:** Para obtener valores más exactos y comparables, se recomienda:

- a) Determinar la masa de la probeta por pesada al aire en el momento de desmoldar, o de recepción en laboratorio. Registrar A.
- b) Pesar la probeta sumergida después de 2 min de inmersión. Registrar B.
- c) Pesar la probeta al aire inmediatamente de retirarla de la inmersión. Registrar C.
- d) Calcular la densidad aparente según la fórmula siguiente:

$$\rho_a = \frac{A}{C - B} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

donde:

A : Masa de la probeta en el momento de desmoldar (g).

B : Masa de la probeta sumergida (g).

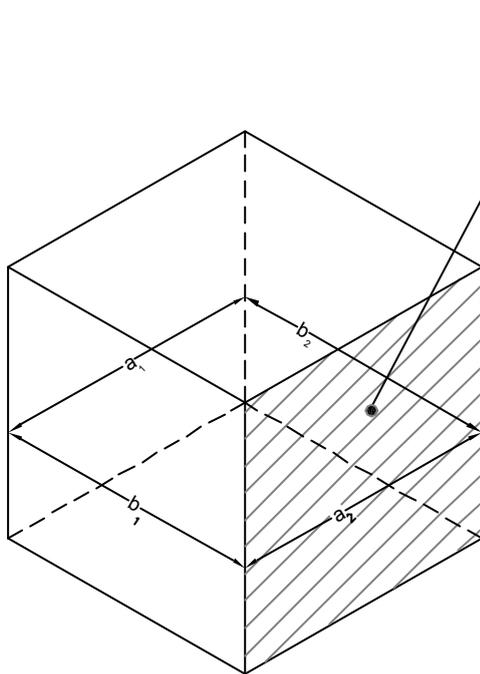
C : Masa de la probeta después de la inmersión (g).

**5.- Informe.** El informe incluirá lo siguiente:

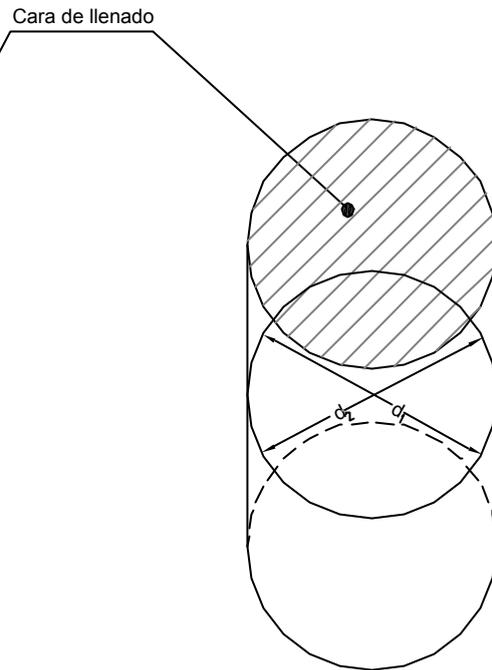
**5.1 Antecedentes generales.** El registro de los antecedentes de las probetas de acuerdo con los Métodos 8.402.8, 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda.

**5.2 Antecedentes de Cada Probeta.**

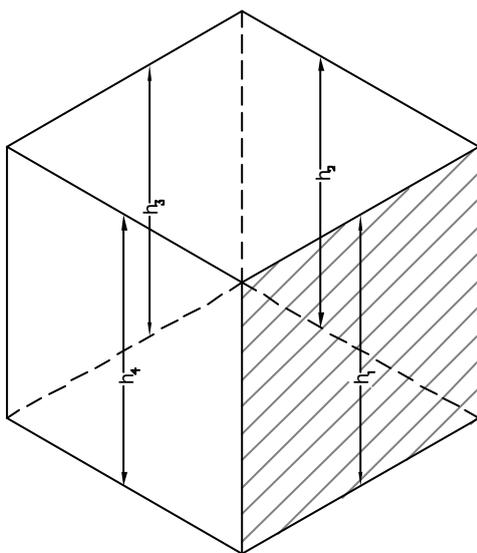
- a) Nombre del Contrato y Contratista.
- b) Fecha y edad en el momento del ensaye.
- c) Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ ).
- d) Tipo de probeta y dimensión básica.
- e) Defectos exteriores en la probeta o su refrentado.
- f) Tipo de curado
- g) Carga de rotura de la probeta (N)
- h) Resistencia a compresión, (MPa).
- i) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
- j) Cualquier otra información específica del ensaye, útil para su mejor interpretación.
- k) Referencia a este Método.



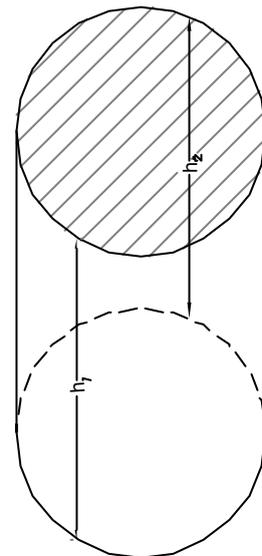
1a. Sección de ensaye de probeta cúbica.



1b. Sección de ensaye de probeta cilíndrica.



1c. Altura de la probeta cúbica.



1d. Altura de la probeta cilíndrica.



## **8.402.12 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA TRACCION POR FLEXION DE PROBETAS PRISMATICAS\***

### **1.- Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método establece los procedimientos para efectuar el ensaye de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.

**1.2** Este método, se aplicará al ensaye de tracción por flexión de probetas obtenidas según Métodos 8.402.9 u 8.402.15 y se ajustará al procedimiento correspondiente, según la dimensión básica de la probeta. Tenga presente que los dos procedimientos que se describen a continuación no son alternativos y sus resultados no son comparables

- a) Para probetas de dimensión básica 150 mm, aplique cargas  $P/2$  en los límites del tercio central de la luz de ensaye.
- b) Para probetas de dimensión básica 100 mm aplique la carga  $P$  en el centro de la luz de ensaye.

\*El Método 8.402.12 es una adaptación de la norma NCh 1038 of. 77.

### **2.- Aparatos.**

**2.1 Prensa de Ensaye.** Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensaye sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de  $\pm 1\%$  de la carga dentro del intervalo utilizable de la(s) escala(s) de lectura.

En general, el intervalo utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la respectiva escala de lectura.

Se deben contrastar las prensas de ensaye de uso habitual por lo menos una vez al año, y las de faena al inicio de la obra.

**2.2 Dispositivo de Tracción por Flexión.** Deberá tener piezas para apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios los que deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Los elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).
- b) Se aplicarán la carga y sus reacciones en forma vertical y estarán dispuestas de modo que las líneas de contacto sean paralelas entre sí y perpendiculares a la luz de ensaye.
- c) Contarán con accesorios que permitan fijar y mantener la luz de ensaye.
- d) Tendrán rótulas regulables, a fin de evitar excentricidades.
- e) Tendrán una longitud igual o mayor que el ancho "b" de las probetas.

**2.3 Regla Rectificada.** Tendrá una longitud igual o mayor que 500 mm

**2.4 Regla Graduada o Huincha.** Deberá ser graduada en milímetros y de una longitud igual o mayor que 1m.

### 3.- Procedimiento.

**3.1 Retiro de las Probetas Curadas.** Las probetas que estaban sumergidas en agua por 24 h. para su curado final según se indica en los Métodos 8.402.9 u 8.402.15, retírelas de ésta inmediatamente antes de ensayar, protéjalas con arpilleras húmedas hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensaye, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

**3.2 Aplicación de la Carga.** La luz de ensaye debe cumplir con las siguientes condiciones, según la forma de aplicación de la carga:

a) Cargas P/2 aplicadas en los límites del tercio central:

$$L \geq 3h \quad (\text{ver Lámina 8.402.12.A Fig.1})$$

donde:

L : Luz de ensaye.

h : Altura de la probeta.

b) Carga P centrada:

$$L \geq 2h \quad (\text{ver Lámina 8.402.12.A Fig.2})$$

c) La distancia " x " entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor que 2,5 cm.

**3.3** Trace rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren el tamaño, forma o características estructurales de las probetas.

**Nota 1:** Al realizar el trazado, verifique la rectitud de los contactos con la regla rectificadora; no debe pasar luz entre la cara de la probeta y la regla.

**3.4** Verifique y registre la luz de ensaye, expresándola en milímetros con aproximación a 1 mm, medida en la cara inferior de la probeta en la posición para ensayar.

**3.5** Limpie la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.

**3.6** Coloque la probeta en la prensa de ensaye, dejando la cara de llenado en un plano vertical, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.

**3.7** El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga debe ser total, con las tolerancias y condiciones siguientes:

a) Acepte una separación igual o menor que 0,05 mm.

b) Si la separación es mayor que 0,05 mm y menor que 0,5 mm, use láminas de cuero natural o sintético interpuestas en el contacto. Esas láminas tendrán un espesor uniforme igual o mayor que 5 mm, un ancho igual o mayor que 25 mm y un largo igual o mayor que el ancho de la probeta. Deseche las láminas que presenten deformaciones apreciables a simple vista.

c) Si la separación es igual o mayor que 0,5 mm y menor que 2 mm, proceda a refrentar.

d) Si la separación es mayor que 2 mm, deseche la probeta.

**3.8** Antes de aplicar la carga verifique que:

a) Todos los contactos cumplen con lo indicado en 3.7.

b) Las distancias entre las piezas de apoyo y de carga se mantienen constantes, con una tolerancia de  $\pm 1$  mm.

**3.9** Aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques. La velocidad de tensión, calculada según 4. deberá estar comprendida entre 0,015 y 0,02 N/mm<sup>2</sup>/s).

**3.10** Una vez fijada la velocidad, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensaye.

**3.11** Registre la carga máxima P expresada en N.

**3.12** Mida el ancho (b) y la altura (h) medios de la probeta en la sección de rotura con aproximación a 1 mm. Registre b y h.

#### **4.- Expresión de los Resultados.**

##### **4.1 Ensaye con Cargas P/2 en los Límites del Tercio Central de la Luz de Ensaye.**

a) Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensaye, calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

donde:

$f_t$  : Tensión de rotura, (MPa).

P : Carga máxima aplicada, (N).

L : Luz de ensaye de la probeta, (mm).

b : Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

h : Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm) .

b) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensaye, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2}$$

donde:

a : distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta, (mm).

c) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensaye y más allá de la zona indicada en b), deseche los resultados del ensaye.

d) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

##### **4.2 Ensaye con Carga P en el Punto Medio de la Luz de Ensaye.**

a) Calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de la rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

donde:

$f_t$  : Tensión de rotura, (MPa).

P : Carga máxima aplicada, (N).

L : Luz de ensaye de la probeta, (mm).

b : Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

h : Altura promedio de la probeta en la sección de rotura, (mm).

b) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

**Nota 2:** Si la prensa de ensaye entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia:  
 $1 \text{ MPa} = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2$

5.- **Informe.** En el informe incluya lo siguiente:

**5.1 Antecedentes Generales.** El registro de los antecedentes generales de las probetas de acuerdo con lo que se indica en los Métodos 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda.

**5.2 Antecedentes de Cada Probeta.**

- a) Nombre del Contrato y del Contratista.
- b) Fecha y edad de la probeta en el momento del ensaye.
- c) Dimensión básica de la probeta, (mm).
- d) Procedimiento de aplicación de la carga.
- e) Luz de ensaye (mm).
- f) Defectos exteriores de la probeta, indicando si fue refrentada o si se usaron láminas para ajuste de piezas de carga.
- g) Tipo de curado.
- h) Carga de rotura de la probeta, (N).
- i) Resistencia a la tracción por flexión (calculada de acuerdo con 4.1 ó 4.2 según corresponda), (MPa).
- j) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.)
- k) Cualquier otra información específica del ensaye, útil para su mejor interpretación.
- l) Referencia a este método.

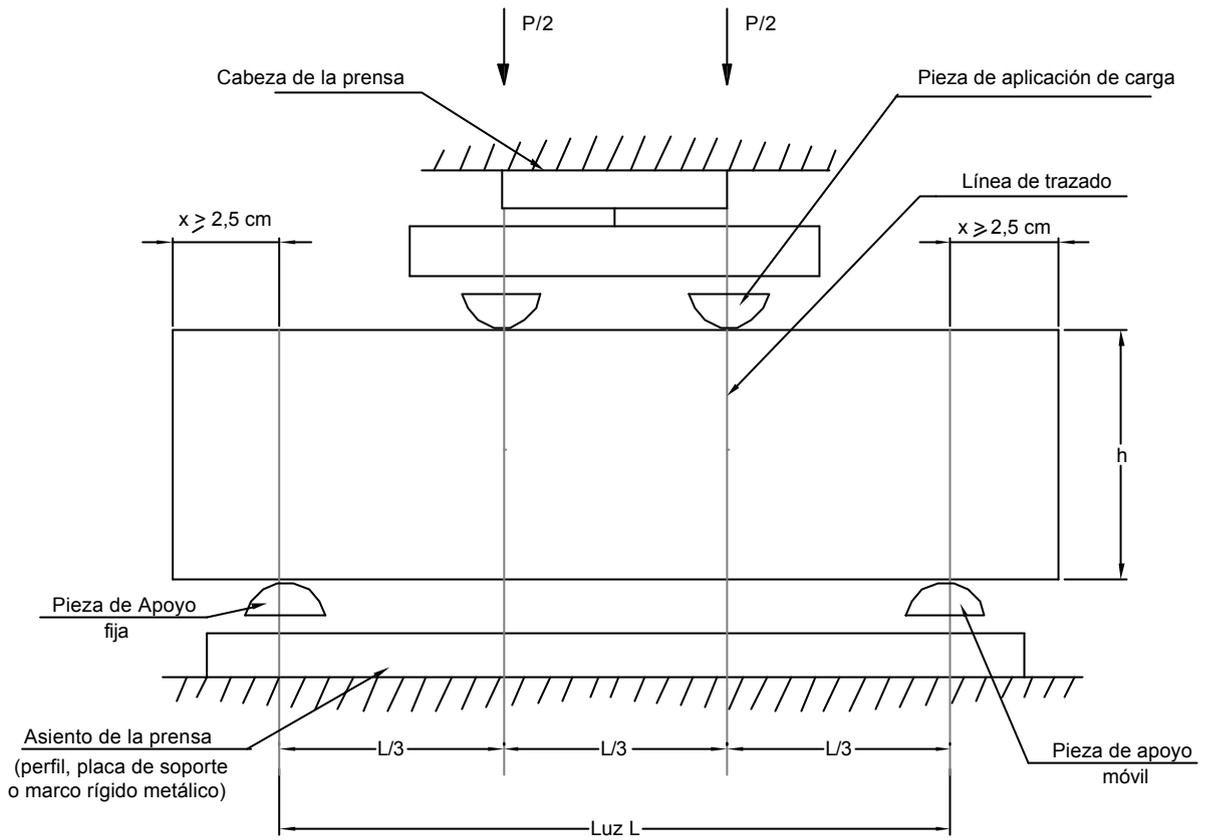


FIGURA 1

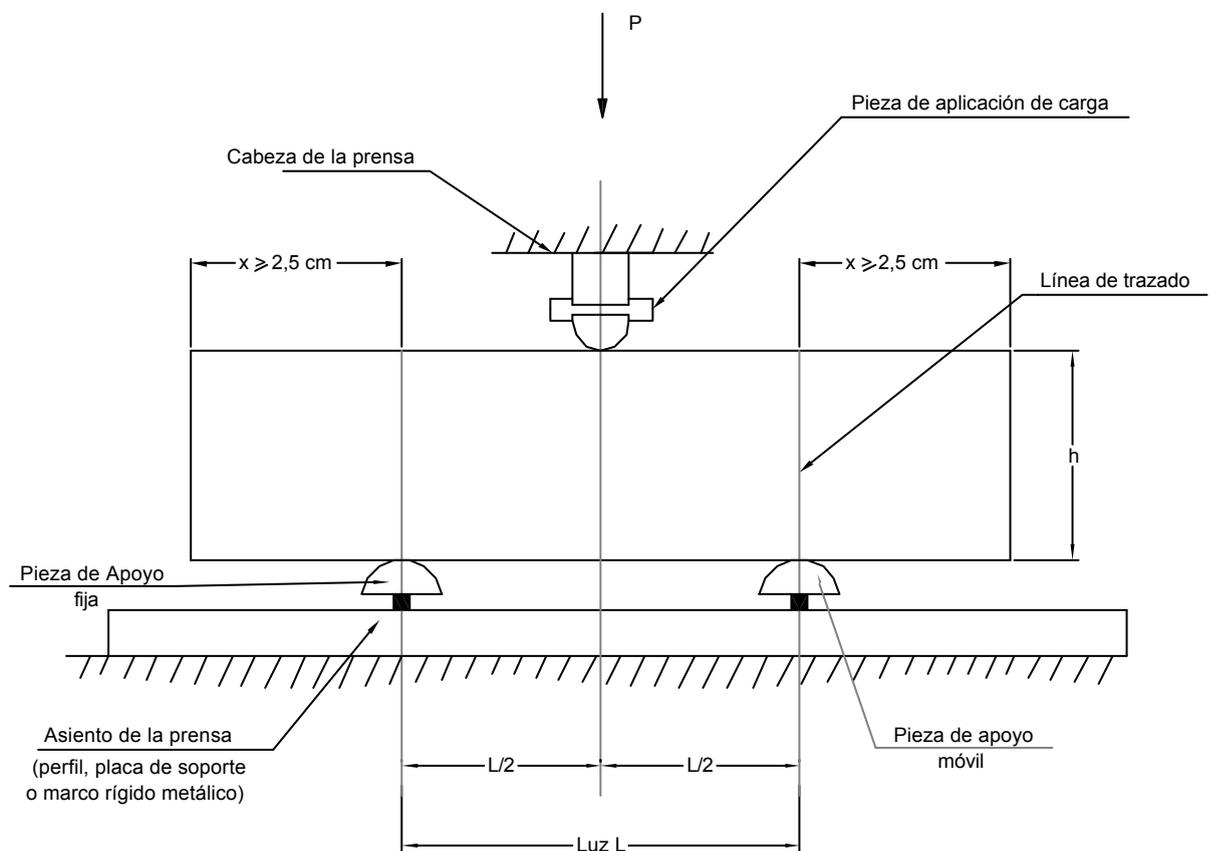


FIGURA 2



### **8.402.13 HORMIGONES: METODO DE ENSAYE A LA TRACCION POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILINDRICAS\***

#### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método establece el procedimiento para efectuar el ensaye de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas de hormigón. El método se aplica a probetas preparadas según los Métodos 8.402.8, 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda

\* El Método 8.402.13 es una adaptación de la norma NCh 1170 of. 77.

#### **2.- Aparatos.**

**2.1 Prensa de Ensaye.** La prensa deberá cumplir con lo dispuesto en el Método 8.402.11.

**2.2 Placa Suplementaria.** Si el diámetro o la mayor dimensión de las piezas de carga o de apoyo de la prensa de ensaye es inferior a la longitud del cilindro por ensayar, emplee una placa suplementaria de acero, de ancho igual o superior a 50 mm, largo igual o superior a la longitud del cilindro y espesor igual o superior a 50 mm. Rectifique las caras de modo de obtener una superficie plana con una tolerancia de  $\pm 0,25$  mm.

**2.3 Tablillas de Apoyo.** Serán de madera contrachapada de  $4 \pm 1$  mm de espesor, de  $15 \pm 5$  mm de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la de la probeta.

**2.4 Regla Graduada.** Estará graduada en milímetros (mm) y tendrá una longitud igual o mayor que 400 mm.

**2.5 Balanza.** Tendrá una capacidad superior a 20 kg y una resolución mínima de 1 g.

#### **3.- Procedimiento.**

**3.1 Curado.** Cure las probetas de acuerdo con los Métodos 8.402.8, 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda.

**3.2 Trazado.** Trace con línea fina un diámetro en cada una de las bases del cilindro; ambos deberán estar dentro de un mismo plano. Una ambas rectas mediante el trazado de dos generatrices que definan claramente las líneas de contacto con las tablillas de apoyo. Se recomienda emplear dispositivo de trazado. Ver Lámina 8.402.13.A.

#### **3.3 Medición de las Probetas.**

- a) Determine y registre el diámetro de la probeta como el promedio aritmético de 3 diámetros medidos sobre las líneas de contacto en el centro y cerca de ambos extremos de la probeta, aproximando a 1 mm.
- b) Determine y registre la longitud de la probeta como el promedio aritmético de las longitudes medidas sobre las dos líneas de contacto, aproximando a 1 mm.
- c) Determine y registre la masa de la probeta en condición húmeda, con una aproximación igual o inferior a 20 g.
- d) Calcule y registre la densidad aparente de la probeta, expresada en  $\text{kg/m}^3$ , con una aproximación igual o inferior a  $10 \text{ kg/m}^3$ .

#### **3.4 Ensaye.**

- a) Limpie las superficies de las placas y de las líneas de contacto de la probeta.
- b) Coloque una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la prensa.

- c) Coloque la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinéela de modo que las líneas de trazado diametral queden verticales y centradas sobre la tablilla.
- d) Coloque la segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta. Se recomienda emplear un dispositivo de alineación (ver Lámina 8.402.13.B).
- e) Antes de aplicar la carga verifique, que las líneas de trazado diametral se mantengan verticales y centradas respecto de las tablillas y piezas de apoyo y carga.
- f) Realizada la verificación, aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques, a una velocidad entre 0,01 y 0,02 N/mm<sup>2</sup>/s hasta la rotura.
- g) Registre la carga máxima P expresada en N.

**4.- Expresión de los Resultados.** Calcule la resistencia a la tracción por hendimiento como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_h = \frac{2 \times P}{\pi \times \ell \times d}$$

donde:

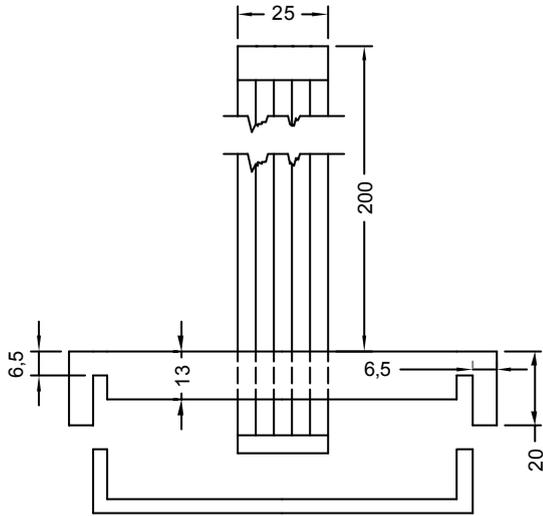
- $f_h$  : Resistencia a tracción por hendimiento, (MPa).
- P : Carga máxima aplicada por la máquina de ensaye, (N).
- $\ell$  : Longitud de la probeta, (mm).
- d : Diámetro de la probeta, (mm).

**Nota 1:** Si la prensa de ensaye entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia:  
1 MPa = 10,1972 kgf/cm<sup>2</sup>

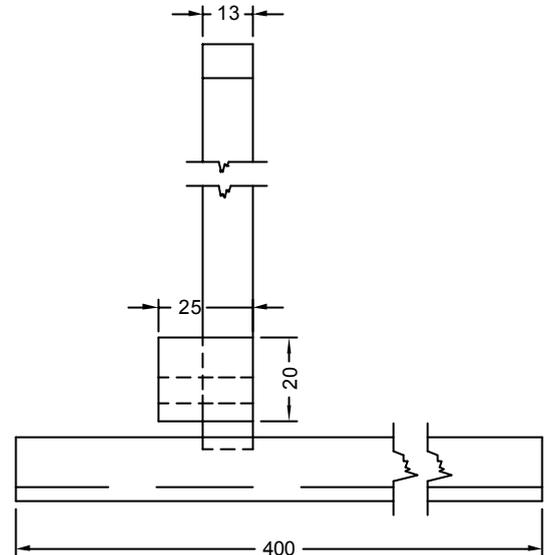
Expresar el resultado con una aproximación igual a 0,1 MPa.

**5.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

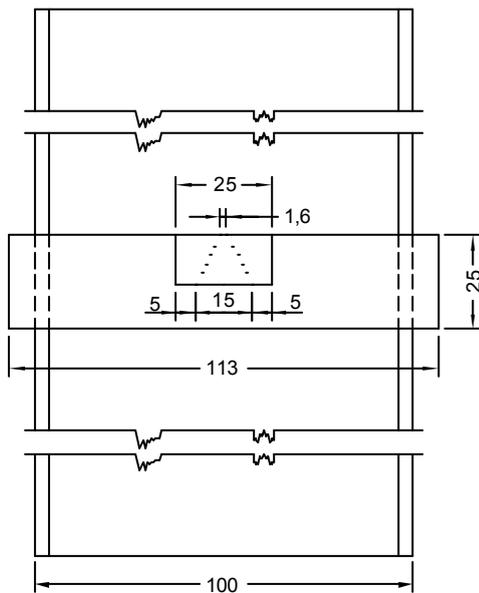
- a) Nombre del Contrato y del Contratista.
- b) El registro de antecedentes de las probetas, de acuerdo con los Métodos 8.402.8, 8.402.9 u 8.402.15, según corresponda.
- c) Fecha y edad de la probeta al momento del ensaye.
- d) Dimensiones de la probeta.
- e) Masa de la probeta, (kg).
- f) Densidad aparente de la probeta, (kg/m<sup>3</sup>)
- g) Defectos exteriores en la probeta.
- h) Tipo de curado de la probeta.
- i) Carga de rotura máxima registrada, (N).
- j) Resistencia a la tracción por hendimiento, (MPa).
- k) Cualquier información específica sobre el ensaye o la probeta, útil para su mejor interpretación.
- l) La referencia a este método.



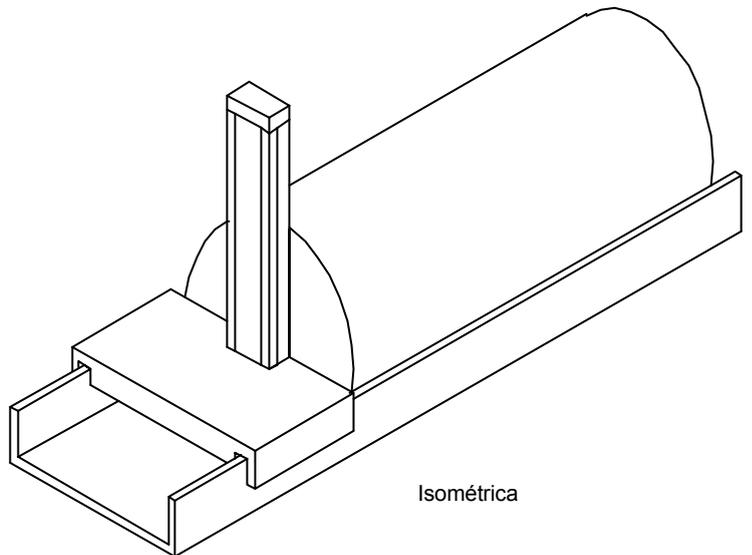
Perfil C 100 x 50 x 4



Elevación lateral

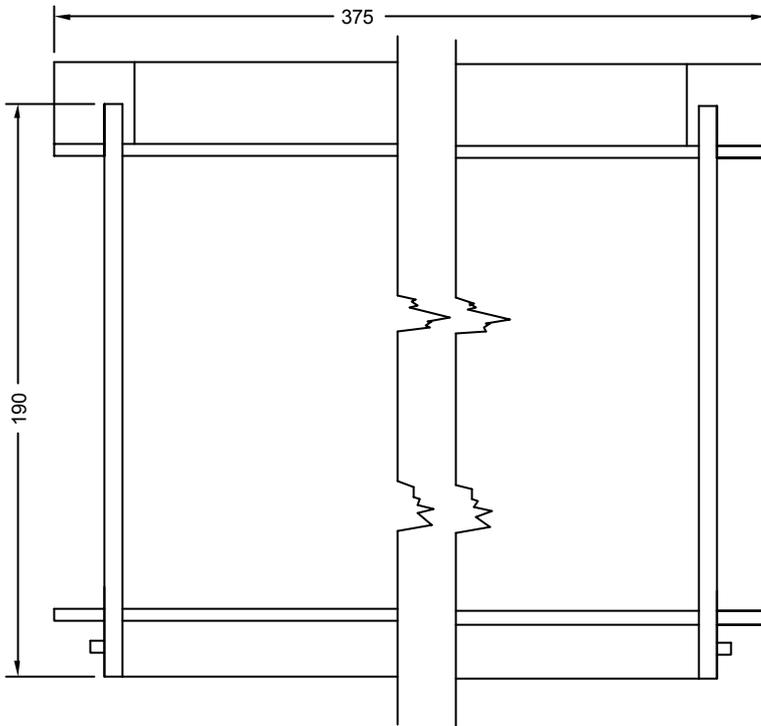


Planta

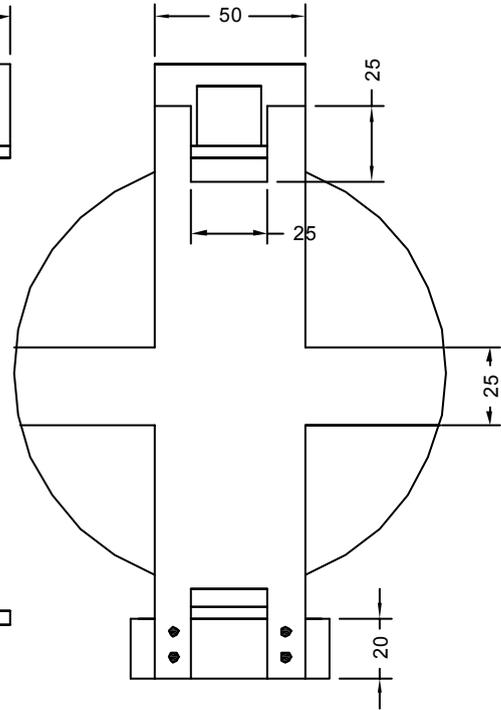


Isométrica

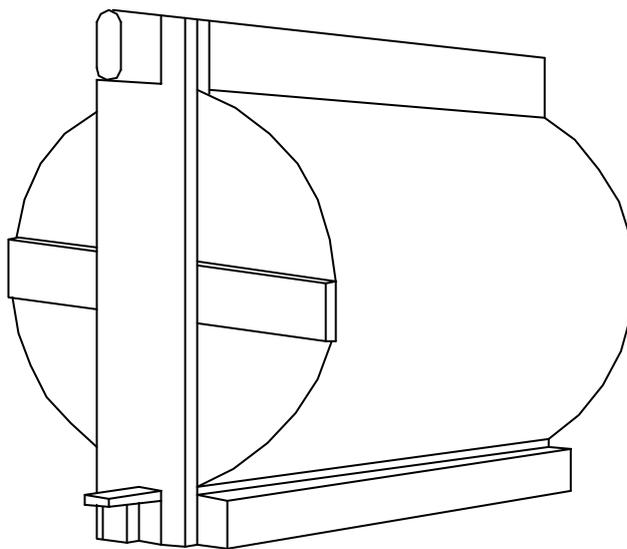
Nota: Todas las dimensiones en mm.



Elevación lateral



Elevación frontal



Isométrica

Nota: Todas las dimensiones en mm.

## **8.402.14 HORMIGONES: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE ESCLEROMETRICO EN EL HORMIGON ENDURECIDO\*.**

**1. Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece el procedimiento para determinar el índice esclerométrico del hormigón endurecido empleando un martillo de acero impulsado por un resorte.

No se debe aplicar para determinar resistencias del hormigón, por lo tanto no es alternativo a ninguno de los ensayos normales de compresión y tracción, y en ningún caso debe emplearse como base para la aceptación o rechazo del hormigón.

**Nota 1:** Sin embargo, se estima que si el instrumento es calibrado para cada mezcla y conjunto de materiales empleados en una obra, para condiciones de humedad y textura similares sobre las que van a realizarse las observaciones y se alcanza una correlación consistente entre el índice esclerométrico y las resistencias a la compresión (obtenidas mediante probetas normales y/o testigos del hormigón), es posible obtener una estimación de la resistencia del hormigón. No obstante, aún tomando las medidas señaladas no puede pretenderse una exactitud mayor a un 20 ó 25%.

El índice esclerométrico determinado mediante este procedimiento tiene las siguientes aplicaciones:

- Evaluar la uniformidad del hormigón in situ.
- Delinear zonas o regiones de hormigón pobre o deteriorado en las estructuras.
- Indicar cambios en el tiempo de las características del hormigón, tales como velocidad de endurecimiento del cemento, acción de temperaturas, etc., con lo que se obtiene información útil para determinar plazos de desmolde y descimbre.
- Supervisar rápidamente grandes áreas de hormigones similares en una construcción bajo consideración.

\* El método 8.402.14 es una adopción de la norma NCh 1565 of. 89.

### **2.- Aparatos.**

**2.1 Martillo de Rebote, Esclerómetro de Rebote.** Es un martillo de acero impulsado por un resorte que al dispararse golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie del hormigón. Debe funcionar con una velocidad fija y reproducible. La distancia de rebote se mide en una escala lineal adosada a la envoltura del instrumento.

**2.2 Piedra Abrasiva.** Pieza de carburo de silicio con una textura de grado medio o material equivalente.

**3.- Plan de Muestreo.** Para cada hormigón en particular debe determinarse previamente el número y distribución de determinaciones de acuerdo con el objetivo que se persigue.

### **4.- Ensaye.**

#### **4.1 Selección de la Superficie por Ensayar.**

- a) Los hormigones por comparar deben ser del mismo tipo, tener aproximadamente la misma edad y condición de humedad y deben haber sido elaborados con los mismos materiales (tipo de cemento, áridos y aditivos).
- b) Los elementos de hormigón por ensayar deben tener un espesor igual o mayor que 100 mm y estar fijos dentro de una estructura. Especímenes menores deben fijarse rígidamente.
- c) Evite las áreas que presenten nidos de piedra, escamaduras, texturas ásperas o alta porosidad.
- d) Elija áreas de ensaye con una misma terminación superficial, producto de moldajes similares.
- e) Ensaye las losas por la cara inferior.

**Nota 2:** Las superficies afinadas, generalmente, dan índices mayores que aquellas con terminación enrasada o moldeada.

- f) Evite las superficies estucadas, salvo que previamente se retire el estuco.

#### 4.2 Preparación de la Superficie por Ensayar.

- a) Marque el área seleccionada por ensayar creando una superficie cuadrada de a lo menos 200 mm por lado.  
b) Empareje con la piedra abrasiva las superficies ásperas, blandas o con mortero suelto.  
c) Las superficies lisas o allanadas pueden ensayarse sin pulir.  
d) Desgaste previamente los hormigones que presenten la capa superficial carbonatada o tengan más de seis meses de edad, hasta una profundidad de 5 mm.

**Nota 3:** El desgaste a la profundidad señalada requiere equipos abrasivos mecanizados. Para verificar la carbonatación de la capa superficial aplique fenoltaleína; si toma color rojo, significa que no existe carbonatación; si se mantiene incolora, indica carbonatación y debe procederse al desgaste. Los valores del Índice que se obtienen sobre superficies desgastadas no son comparables con los obtenidos en superficies sin desgastar.

- e) Con el propósito de disminuir los efectos de secado, humedezca completamente la superficie por 24 h previas al ensaye.

**Nota 4:** Los hormigones secos producen índices mayores que el hormigón húmedo.

- f) El hormigón por ensayar deberá encontrarse descongelado.

**Nota 5:** Los hormigones a temperatura igual o menor que 0°C pueden presentar índices esclerométricos muy altos.

**5.- Calibración y Mantenimiento.** El martillo debe ser sometido a mantenimiento y calibración periódica. Antes de emplearlo debe calibrarse mediante un yunque especial colocado sobre una base firme. El valor de rebote al golpear sobre el yunque, hacia abajo, debe ser entre 78 y 82; si resultan valores menores, debe ajustarse el aparato.

**Nota 6:** La calibración en el yunque no garantiza que diferentes martillos entreguen los mismos resultados, en otros puntos de la escala esclerométrica.

#### 6.- Ensayes.

**6.1** Los ensayos comparativos deberán efectuarse con un mismo martillo.

**Nota 7:** El empleo de diferentes martillos, aún del mismo tipo, puede dar índices que difieren de entre 1 a 3 unidades.

**6.2** Sujete firmemente el instrumento en una posición que permita golpear perpendicularmente la superficie por ensayar. La posición normal de trabajo del martillo es horizontal, por lo que cuando se realicen determinaciones en otras posiciones, deben hacerse las correcciones de las lecturas de acuerdo con las correlaciones que proporciona el fabricante.

**6.3** Aumente gradualmente la presión hasta que el martillo dispare.

**6.4** Después de cada impacto, examine la superficie y descarte la lectura si el impacto produce trituración superficial o rompe a través de un hueco de aire superficial. En caso contrario registre el valor de rebote, aproximando a la menor división de la escala del aparato.

**6.5** Repita la operación efectuando impactos uniformemente repartidos en la superficie de ensaye hasta completar 10 valores registrados.

## 7.- Cálculos.

**7.1** Descarte cualquier lectura que difiera en más de 7 unidades del promedio de los 10 valores registrados.

**7.2** Cuando, de acuerdo con lo señalado en 7.1, se descarten 3 o más valores registrados, se deben descartar todas las lecturas de la superficie de ensaye.

**7.3** Calcule y registre el índice esclerométrico como el promedio de las lecturas no eliminadas en 7.1.

## 8.- Interpretación de Resultados.

**8.1** La interpretación de resultados debe ser efectuada por personas calificadas y experimentadas en tecnología del hormigón.

**8.2** Se obtienen valores más confiables a partir de ensayos con el martillo cuando se correlacionan con información de ensaye de testigos.

**Nota 8:** Debido a que habitualmente resulta difícil obtener estos datos, es recomendable comparar los valores de rebote con estructuras y hormigones similares de los que se tenga información confiable (por ejemplo; ensaye de probetas moldeadas).

**9.- Informe.** En el informe incluya lo siguiente:

- a) Nombre del Contrato y del Contratista.
- b) Identificación y ubicación de la estructura.
- c) Número y ubicación de las áreas de ensaye y áreas descartadas.
- d) Descripción del hormigón (edad, condición de humedad y terminación o tipo de moldaje empleado).
- e) Resultados: índice esclerométrico y resistencia estimada.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al hormigón (como preparación de la superficie de ensaye, tipo de cemento, dosificación, resistencia de diseño, condiciones de curado, etc.).
- g) Tipo y número de serie del martillo.
- h) Referencia a este método.



## **8.402.15 HORMIGONES: METODO DE PREPARACION DE MEZCLAS DE PRUEBA EN LABORATORIO\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece los procedimientos para preparar mezclas de prueba de hormigón en laboratorio.

Es aplicable a mezclas que se emplean en ensayos del hormigón fresco y en la confección de probetas para ensayos del hormigón endurecido con los propósitos de: verificar la calidad de los materiales componentes y su correcta dosificación, investigar procedimientos de elaboración y ensayos e investigar propiedades y características del hormigón.

\* El Método 8.402.15 es una adopción de la Norma NCh 1018 of. 77.

**2.- Terminología.** Los términos empleados en este método se encuentran definidos en la norma NCh 170 y en el Método 8.202.1.

### **3.- Aparatos.**

**3.1 Recipientes.** Los recipientes que se usen para contener materiales o para saturar áridos, deberán ser limpios, impermeables y químicamente inertes respecto de los componentes del hormigón; y estarán provistos de tapas herméticas cuando sea necesario.

**3.2 Balanzas.** Tendrán una capacidad mayor que la masa del recipiente más la masa del material por pesar y una resolución igual o superior al 0,1% de la pesada.

**Nota 1:** En general se recomienda tener por lo menos una balanza de 60 a 100 kg de capacidad para pesar áridos y cemento y otra de 1 a 2 kg de capacidad para pesar aditivos y adiciones.

**3.3 Mezclador.** Se usará un mezclador mecánico o elementos para mezclar manualmente.

### **4.- Preparación de los Materiales.**

**4.1 Antecedentes.** Registre los antecedentes disponibles sobre las características de los materiales por emplear, comprobadas en ensayos previos, cuando sea necesario.

**4.2 Temperatura.** Use los materiales solamente cuando su temperatura alcance  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

**4.3 Agua.** Mida la cantidad (masa o volumen) de agua requerida con una precisión de  $\pm 0,2\%$ ; evite pérdidas y contaminaciones y considere las correcciones necesarias según la humedad que presenten los áridos.

**4.4 Cemento.** Tamice por el tamiz 1,25 mm para eliminar posibles grumos; luego homogeneice por medio de una revoltura cuidadosa, pese la cantidad requerida procurando hacerlo en una sola operación en un recipiente limpio y seco, evitando pérdidas y contaminaciones. Por último, almacene todo el cemento requerido para una mezcla o una serie completa de mezclas de prueba, en recipientes herméticos, preferentemente metálicos y guardados en un lugar seco.

**Nota 2:** Cuando un cemento se encuentre alterado (hidratación, contaminación, etc.), se recomienda verificar y registrar su estado antes de preparar la mezcla de prueba (formación de grumos, aumento de pérdida por calcinación según NCh 147, etc.)

### **4.5 Aridos.**

a) Separe los áridos según tamaños en las fracciones que sean necesarias para disminuir el peligro de segregación y constituya, con la mayor exactitud posible, la granulometría en estudio.

**Nota 3:** Cuando el árido grueso es una mezcla de materiales rodados y chancados, se debe registrar la proporción entre ambos tipos de partículas según el Método 8.206.6.

- b) Almacene las fracciones separadas en recipientes adecuados, para evitar segregaciones, pérdidas y contaminaciones.
- c) Trate los áridos de acuerdo al punto 5 antes de pesarlos para asegurar una condición de humedad definida y uniforme, considerando que el agua de absorción es parte integrante del árido y que demora en ser absorbida.
- d) Pese cada fracción de árido con una precisión de  $\pm 0.3\%$  en la condición de humedad resultante después de tratada con algunos de los procedimientos que se han indicado en el punto 5.

## 5.- Tratamiento de los Aridos.

Elija el tratamiento por seguir de acuerdo al objetivo de la mezcla de prueba y al estado de humedad de los áridos, de entre uno de los métodos que se indican más adelante.

**Nota 4:** Cuando se desee investigar la influencia del grado de saturación de un árido, se debe determinar la curva tiempo/absorción del árido y luego preparar mezclas de prueba comparativas con el árido totalmente saturado y con distintos grados de saturación. Se entenderá por grado de saturación el cociente entre la cantidad de agua absorbida por el árido en un determinado momento y la máxima cantidad de agua de absorción de ese árido, calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{grado de saturación} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

donde:

- $\alpha'$  : % de absorción del árido en un momento determinado.
- $\alpha$  : % de absorción máxima.

### 5.1 Tratamiento de Aridos con Excedente de Agua. Aplique el siguiente procedimiento a las arenas:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con el Método 8.202.21.
- b) Sumerja el árido durante un período de a lo menos 24 h.
- c) Escurra el exceso de agua, hasta dejar el árido fino en estado húmedo con una pequeña cantidad de agua excedente, suficiente para evitar pérdidas por secado. Manténgalo protegido hasta el momento de emplearlo.
- d) Determine el porcentaje de humedad total resultante del tratamiento efectuado en c), referido a la masa del árido en estado seco.
- e) Calcule la cantidad de agua total, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- f) Pese del árido húmedo resultante en c), una cantidad igual a la masa de árido seco requerido para la amasada más el valor calculado en e).
- g) Calcule el porcentaje de agua libre como la diferencia entre el porcentaje de humedad total y el porcentaje de absorción de agua.
- h) Calcule la cantidad de agua libre, aplicando el porcentaje de agua libre a la masa de árido seco requerido para la amasada.
- i) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

### 5.2 Tratamiento de Aridos Parcialmente Secos. Aplique el siguiente procedimiento a las gravas siempre que su absorción sea inferior a 1%:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con el Método 8.202.20.
- b) Determine el porcentaje de humedad total presente en el árido referido a la masa del árido en estado seco.
- c) Calcule la cantidad de agua total presente en el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- d) Pese del árido parcialmente seco una cantidad igual a la suma de la masa de árido seco requerida para la amasada más el valor calculado en c).
- e) Estime el porcentaje de agua que absorberá el árido durante el proceso de mezclado como el 80% de la diferencia de los valores determinados en a) y b).

- f) Calcule la cantidad de agua que absorberá el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje estimado en e).
- g) Corrija el agua de amasado, sumándole la cantidad de agua calculada en f).

**5.3 Tratamiento de Aridos Secos.** Considere como árido seco al que se ha secado en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante. Aplique el siguiente procedimiento a cualquier árido o fracciones de árido seco:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con los Métodos 8.202.20 u 8.202.21, según corresponda.
- b) Seque los áridos en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante.
- c) Pese, en un recipiente impermeable, cada árido o fracción de árido en la condición seca, la cantidad requerida para la amasada.
- d) Cubra los áridos con agua durante a lo menos 24 h hasta saturarlos antes de su empleo.
- e) Después de la saturación extraiga cuidadosamente el agua sobrante de modo que la cantidad de agua libre que arrastre el árido sea menor que la de amasado.
- f) Pese, en el mismo recipiente, los áridos saturados más el agua libre.
- g) Calcule la cantidad de agua total en los áridos como la diferencia de las pesadas obtenidas en f) y c),
- h) Calcule la cantidad de agua de absorción, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de absorción de agua.
- i) Calcule la cantidad de agua libre como la diferencia de los valores obtenidos en g) y h).
- j) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

## 6.- Aditivos.

**6.1 Aditivos Solubles.** Prepare una solución de los aditivos solubles en una parte del agua de amasado. Si es líquido considere su volumen como parte del agua de amasado.

**6.2 Aditivos Insolubles.** Para los aditivos insolubles, mezcle con una parte o con la totalidad del cemento o con el árido fino.

**6.3 Adiciones.** Las adiciones que se empleen en cantidad superior al 10% de la masa del cemento se deben incorporar a la amasada en la misma forma que el cemento; en dosis menores al 10%, se deben incorporar como se indica en 6.2.

## 7.- Mezclado del Hormigón.

**7.1 Condiciones Generales.** El hormigón se debe mezclar de preferencia por medios mecánicos o, en su defecto, por medios manuales.

El volumen de la amasada por preparar será superior en un 20% o más, al volumen necesario para efectuar los ensayos del hormigón fresco y/o confeccionar probetas.

**7.2 Mezclado Manual.** Este procedimiento podrá utilizarse para mezclar hormigones sin aire incorporado y para hormigones de asentamiento en el cono de Abrams superior a 2 cm; la cantidad por mezclar debe ser inferior a 40 l.

**Nota 5:** Si para ajustar al asentamiento señalado fuera necesario añadir agua en forma fraccionada a una amasada, generándose interrupciones en el proceso, dicha amasada debe desecharse y prepararse una nueva en que se utilice la cantidad de agua determinada en el ajuste anterior.

Mezcle con pala o plana de albañil, en un recipiente de mezclado previamente humedecido (batea o bandeja). Tenga especial cuidado en limpiar previamente los elementos utilizados para mezclar, cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente. La secuencia de mezclado será la siguiente:

- a) Mezcle toda la arena, el cemento, el aditivo insoluble y la adición, si se usa, hasta obtener una masa homogénea a la vista.
- b) Añada toda la grava y mezcle hasta obtener su distribución uniforme en la masa.
- c) Agregue el agua y el aditivo soluble, si se usa, y mezcle hasta que el hormigón tenga una apariencia homogénea y el asentamiento deseado.
- d) Efectúe el mezclado sin interrupciones.

**7.3 Mezclado Mecánico.** El procedimiento será aplicable a todo tipo de hormigones, debiéndose prestar especial atención para evitar, en lo posible, la pérdida de mortero por adherencia a las superficies interiores del tambor del mezclador y a las paletas. La cantidad de mezcla quedará determinada por la capacidad del mezclador utilizado.

Se recomienda utilizar un mezclador de eje vertical, que permita recuperar todo el mortero adherido a las paletas. Para mezcladoras que no cumplan este requisito, se recomienda mezclar previamente una amasada de igual dosificación a la especificada para el ensaye y desecharla, para que quede una capa de mortero adherida a las superficies interiores del mezclador. Tenga especial cuidado en limpiar el mezclador y los accesorios cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente.

El mezclado mecánico debe seguir las mismas etapas especificadas para el mezclado manual; una vez incorporados todos los materiales debe revolver durante 3 min, reposar la mezcla otros 3 min, y revolver nuevamente por 2 min más.

**8.- Ensaye del Hormigón Fresco.** Efectúe los ensayos requeridos del hormigón fresco de acuerdo con los métodos correspondientes.

**9.- Confección y Curado de Probetas en Laboratorio.**

**9.1** Cuando se requieran probetas para ensaye de compresión y tracción, confecciónelas y cúrelas de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Método 8.402.9, excepto cuando se establezcan otros procedimientos de acuerdo con objetivos especiales del ensaye.

**9.2** Cuando se requiera refrentar una probeta, aplique los procedimientos establecidos en el Método 8.402.10.

**10.- Informe.** De cada mezcla de prueba, lleve un registro que indique lo siguiente:

**10.1 Identificación de la Mezcla.**

- a) Nombre del Contrato y del Contratista.
- b) Objetivo.
- c) Fecha de confección de la mezcla

**10.2 Antecedentes del Hormigón.**

- a) Antecedentes de los materiales (antecedentes de producción, ensayos de comprobación, posibles alteraciones, etc.)
- b) Dosificación.
- c) Condiciones de mezclado (tipo de mezclador, temperatura y humedad ambiente, volumen de amasada, etc.)
- d) Cualquier excepción o complemento a los procedimientos establecidos en el presente método.

**10.3 Otros Antecedentes.**

- a) Resumen de resultados de los ensayos efectuados con la mezcla de prueba.
- b) Cualquier otra información específica relativa al hormigón y a las condiciones de uso.

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.500 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE  
CAPITULO 8.500 ASFALTOS**

**INTRODUCCION**

**SECCION 8.501 ESPECIFICACIONES PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES.**

(En blanco)

**SECCION 8.502 METODOS PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES.**

- 8.502.1 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL).
- 8.502.2 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL).
- 8.502.3 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE EXTRACCION DE TESTIGOS.
- 8.502.4 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE HI-LO.
- 8.502.5 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (FWD).
- 8.502.6 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES ELASTICAS DE LOS PAVIMENTOS A PARTIR DE LA DEFLECTOMETRIA DE IMPACTO (FWD).
- 8.502.7 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE DEFLEXION CORRESPONDEN A LA MISMA POBLACION.
- 8.502.8 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE PERFILOMETRIA LONGITUDINAL.
- 8.502.9 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE CAPAS ASFALTICAS.
- 8.502.10 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MEZCLA.
- 8.502.11 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO.
- 8.502.12 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL ESCALONAMIENTO.
- 8.502.13 (EN BLANCO)
- 8.502.14 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYE DEL CIRCULO DE ARENA
- 8.502.15 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DE LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE PERFILOMETRIA LASER
- 8.502.16 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL)
- 8.502.17 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM
- 8.502.18 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES : METODO PARA LA MEDICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIDOS CON EQUIPO GRIPTESTER
- 8.502.19 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE HOMOLOGACIÓN DE MEDICIONES DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y MACROTEXTURA
- 8.502.20 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICION DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO



**MANUAL DE CARRETERAS**  
**VOLUMEN 8**  
**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**  
**CAPITULO 8.500 – AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**

**INTRODUCCION**

El Capítulo 8.500, Auscultaciones y Prospecciones, describe los procedimientos que se han definido para determinar las características y calidad de obras de pavimentación terminadas. A diferencia de los demás Capítulos de este Volumen, en éste no se incluyen Especificaciones, sino sólo se describen procedimientos para realizar ensayos; contiene un total de 19 Métodos, numerados del 8.502.1 al 8.502.20 (el Numeral 8.502.13 está en blanco). La lista se presenta siguiendo la numeración correlativa, sin separaciones, sin embargo, ella guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Se incluye un grupo de 4 procedimientos con numeraciones no correlativa (8.502.1, 8.502.2, 8.502.9 y 8.502.10) en los que se describe como, mediante sistemas de radiación nuclear, se determina la humedad de los suelos, densidades de suelos y capas asfálticas y el contenido de asfalto de una mezcla.

Hay un segundo grupo de 4 procedimientos (8.502.3, 8.502.5, 8.502.6 y 8.502.7), que tienen por objetivo establecer las condiciones estructurales de un pavimento. El primero describe la extracción de testigos del pavimento. El segundo, la medición de deflexiones con un deflectómetro de impacto, con miras a determinar la capacidad estructural. El tercero corresponde a un modelo matemático (retroanálisis) en el que, dada una deformación del pavimento ante una carga conocida, calcula el conjunto de propiedades elásticas de las capas que reproducen esta deformación. El último se refiere a la utilización de una herramienta estadística para determinar tramos de comportamiento homogéneo, utilizando los parámetros de la deflectometría.

Un tercer grupo de 4 procedimientos (8.502.4, 8.502.8, 8.502.11 y 8.502.12), que describen la forma de recopilar información relacionada con la condición funcional de un pavimento, es decir, irregularidades superficiales, rugosidad, ahuellamiento y escalonamiento de juntas en pavimentos de hormigón.

En el último grupo hay 7 procedimientos (8.502.14, al 8.502.20), que describen la forma de medir la calidad de la textura superficial de un pavimento y los factores que de ella derivan (coeficiente de resistencia al deslizamiento). Además, se incluyen procedimientos de homologación entre equipos y para determinar la repetibilidad de un equipo y la reproducibilidad entre grupos de éstos.



**CAPITULO 8.500 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**

**SECCION 8.501 ESPECIFICACIONES PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**

En blanco.



## SECCION 8.502 METODOS PARA AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES

### 8.502.1 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL)\*

#### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1 Introducción.** Este método describe los procedimientos para determinar la densidad in situ de suelos y agregados pétreos mediante un equipo nuclear. En general, la densidad total o densidad húmeda del material bajo ensaye se determina colocando una fuente gamma y un detector gamma instalado sobre, dentro o adyacente al material a medir. Estas variaciones en la geometría del ensaye se presentan como retrodispersión, transmisión directa o separación por colchón de aire respectivamente. La intensidad de la radiación detectada depende, en parte, de la densidad del material bajo ensaye; la lectura de la intensidad de la radiación se transforma a densidad húmeda por una curva de calibración apropiada.

Debe destacarse que la densidad determinada por este método no es, necesariamente, el promedio de las densidades existentes en el interior del volumen envuelto en la medición y que el equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operadores, a menos que se tomen las precauciones adecuadas.

**1.2 Determinación de la Densidad.** El método permite determinar la densidad total o densidad húmeda de suelos y agregados pétreos in situ, por la atenuación de los rayos gamma cuando la fuente gamma y el detector gamma, o ambos, permanecen en o cerca de la superficie. Los procedimientos que se describen son normalmente satisfactorios para determinaciones en espesores de aproximadamente 50 a 300 mm, dependiendo del tipo de geometría usado en el ensaye.

Se presentan tres métodos que son los siguientes:

- Método A Retrodispersión: acápite 5
- Método B Transmisión Directa: acápite 6
- Método C Colchón de aire ; acápite 7

\* El Método 8.501.2 es una adaptación de la norma AASHTO T 238 – 79.

**2.- Significado.** Los procedimientos que se describen son útiles como técnicas no destructivas rápidas para la determinación in situ de la densidad húmeda de suelos y agregados pétreos. Las hipótesis fundamentales, inherentes al método, son que la dispersión de Compton es la interacción dominante y que el material bajo ensaye es homogéneo.

Son ensayos muy convenientes para la aceptación y control de suelos y agregados pétreos para la construcción, así como también para la investigación y desarrollo. Los resultados pueden verse afectados por la composición química, la heterogeneidad de la muestra y la textura de la superficie del material ensayado. Las técnicas además demuestran una predisposición especial donde el aparato es más sensible a ciertas regiones del material bajo ensaye.

#### 3.- Calibración.

**3.1 Curvas de Calibración.** Las Curvas de Calibración se establecen determinando la razón de conteo nuclear de cada uno de varios materiales diferentes de densidades conocidas, trazando la razón de conteo versus cada densidad y ajustando una curva por los puntos resultantes. La razón de los conteos nucleares debe determinarse promediando un mínimo de 4 períodos de medición de por lo menos 1 min cada uno. El método usado para establecer la curva debe ser el mismo que se va a usar para determinar la densidad. La densidad de los materiales usados para establecer la curva de calibración debe ser uniforme y variar dentro de un rango que incluye la densidad de los materiales que se ensayarán.

a) Las Curvas de Calibración pueden definirse en base a lo siguiente:

- Bloques de densidad conocida. Los materiales considerados satisfactorios para usar en bloques incluyen el granito, aluminio, magnesio con aluminio laminado, caliza y magnesio. Para transmisión directa debe perforarse un hoyo en los bloques con las tolerancias de dimensión dadas en 6.1 d).

**Nota 1:** Debido al efecto de las diferentes composiciones químicas, las curvas de calibración pueden no ser aplicables a materiales no representados al establecerlas. Los bloques metálicos son adecuados sólo para determinar la forma y pendiente de la curva de calibración. La correcta localización de la curva debe ser determinada por ensayos sobre bloques o materiales de composición similar a la encontrada en el campo del ensaye.

- Contenedores de Suelo - agregado compactado a densidades conocidas.

**Nota 2:** El uso de los bloques es ventajoso porque son durables y proporcionan referencias de densidad estables. Los bloques y contenedores preparados deben ser suficientemente grandes para no cambiar la razón de conteos observados si se aumenta cualquier dimensión. Las dimensiones mínimas de los bloques deben ser 300 mm de ancho por 350 mm de profundidad por 600 mm de largo.

Los contenedores preparados deben ser bastante amplios para permitir la rotación del medidor en 90°. Las dimensiones mínimas para los contenedores de muestreo de suelos deben ser de 600 mm de ancho por 600 mm de largo por 350 mm de profundidad. Para calibración en retrodispersión solamente, es adecuada una profundidad de no menos de 150 mm.

**3.2 Control de las Curvas de Calibración.** Las Curvas de Calibración para instrumentos recién adquiridos deben controlarse. También deben efectuarse controles si por cualquiera razón los resultados de ensayos de rutina se estiman inexactos. Para el método de retrodispersión, las curvas de calibración deben controlarse también para ensayos en materiales ensayados previamente, y que pueden tener composiciones químicas diferentes.

Las Curvas de Calibración pueden ser controladas en bloques (3.1 a), primer párrafo) o contenedores preparados (3.1 a) segundo párrafo).

**3.3 Ajuste de la Curva de Calibración.** Cuando use bloques o contenedores de materiales preparados de densidad conocida para chequear la calibración, trace la razón de conteo versus cada densidad conocida descrita en 3.1. Si los puntos no caen en las Curvas de Calibración establecidas previamente, reemplace la curva de calibración original por una curva paralela por los puntos trazados.

Cuando use cono de arena, globo de agua u otro método para controlar la calibración, compare el promedio de por lo menos 5 posiciones de un ensaye nuclear y un ensaye con cono de arena u otro método, en exactamente la misma ubicación en cada área y proceda a ajustar la curva de calibración como sigue:

- a) Si la densidad de cada uno de los ensayos de comparación determinados por el cono de arena, u otro método, varía en menos de 80 kg/m<sup>3</sup> de la densidad determinada por el método nuclear y si el promedio de todos los ensayos de cono de arena, etc., difiere menos de 32 kg/m<sup>3</sup> del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, no es necesario hacer ajustes a la curva de calibración.
- b) Si el promedio de todas las determinaciones de densidad por el cono de arena, u otro método está a más de 32 kg/m<sup>3</sup> por encima o debajo del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, los ensayos nucleares subsiguientes deben ser ajustados en el monto de la diferencia de los promedios.
- c) El promedio de diferencias obtenido en b) puede ser usado para trazar una curva de calibración corregida, que será paralela a la curva de calibración original y desplazada en la cantidad y dirección determinada en b).

**Nota 3:** Ajustar Curvas de Calibración es una tarea compleja y debe ser ejecutada sólo por aquellos que tengan conocimiento en este campo.

#### 4.- Precisión.

**4.1** Cualquier equipo que se use ajustándose a los procedimientos que se describen en este método deberá satisfacer estos requerimientos para la precisión del sistema.

**4.2** La precisión del sistema está determinada por la gradiente de la curva de calibración y la desviación estadística de las señales (rayos gamma detectados) en cuentas por minuto (cpm):

$$P = \frac{S}{m}$$

donde:

- P : Precisión.
- S : Desviación normal, (cpm).
- m : Gradiente, (cpm/kg/m<sup>3</sup>).

**4.3** Determine la pendiente de la curva de calibración en el punto 1.760 kg/m<sup>3</sup> en cuentas por minuto por kg/m<sup>3</sup>. Determine la desviación normal de 10 lecturas repetitivas de 1 min cada una (sin mover el medidor después de la primera medición) tomadas en un material que tenga una densidad de 1.760 ± 80 (kg/m<sup>3</sup>). El valor de P deberá ser menor que 20 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.- Procedimiento A, Retrodispersión.

##### 5.1 Equipo.

- a) Fuente gamma; deberá ser una fuente de isótopos radiactivos encapsulada y sellada.
- b) Detector gamma; puede ser de cualquier tipo adecuado.
- c) Dispositivo de lectura; puede ser un escalar adecuado. Normalmente el dispositivo de lectura contiene la fuente de alto voltaje necesario para operar el detector y una fuente de bajo voltaje para operar el dispositivo de la lectura y los equipos accesorios.
- d) Caja; la fuente, el detector, el dispositivo de lectura, la fuente de poder deberán estar en cajas de construcción sólida, a prueba de humedad y polvo.

**Nota 4:** La fuente gamma, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de poder pueden estar en cajas separadas, o combinadas e integradas con un sistema de medición nuclear de la humedad.

- e) Patrón de referencia; de densidad uniforme e invariable, que será provisto con cada medidor con el propósito de controlar la operación del equipo, la cuenta ambiental y para establecer condiciones para determinar la reproducibilidad de las cuentas.
- f) Equipo para la preparación del terreno; puede usarse una placa de acero, plana u otras herramientas adecuadas para emparejar el terreno a las condiciones requeridas.

##### 5.2 Normalización.

- a) Se requiere normalizar el equipo en un patrón de referencia al inicio de cada día de uso y cuando las mediciones de los ensayos sean sospechosos.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- c) Tome por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 minuto cada una con el medidor sobre el patrón de referencia. Esto constituye un control de normalización.
- d) Si el promedio de las 4 lecturas repetitivas está fuera de los límites puestos por la ecuación siguiente, repita el ensayo de normalización. Si el segundo control de normalización satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias; si este segundo control no satisface la ecuación, chequee la calibración (3.2). Si el chequeo de calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, establezca un nuevo conteo de referencia N<sub>0</sub>.

si el chequeo de calibración muestra que hay una diferencia significativa en la curva de calibración, repare y recalibre el instrumento.

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \sqrt{N_0}$$

donde:

$N_s$ : Cuenta medida al controlar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

$N_o$ : Cuenta establecida previamente en el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas repetitivas).

### 5.3 Procedimiento.

- a) Seleccione un lugar de ensaye donde el medidor en posición de ensaye esté por lo menos a 150 mm de distancia de cualquier proyección vertical.
- b) Prepare el sitio de ensaye de la siguiente manera:
  - Remueva todo el material suelto y disgregado y cualquier material adicional si es necesario para dejar expuesta la parte superior del material a ensayar.

**Nota 5:** En la determinación, el corrector de afinamiento debiera considerarse por la profundidad a la cual el medidor ha sido instalado.

- Prepare un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el medidor, aplanándola hasta dejarla lisa de modo de obtener el máximo contacto entre el medidor y el área que se va a ensayar.
- El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y empareje la superficie con una placa rígida u otra herramienta adecuada.

**Nota 6:** La colocación del medidor en la superficie del material a ensayar es crítica para la exitosa determinación de la densidad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie del medidor y la del material ensayado. Esto no es posible en todos los casos y para corregir irregularidades de la superficie use arena o material similar como filler si es necesario. El espesor del relleno no debe exceder de 3 mm y el área total rellenada no debiera exceder del 10% del área de la base del medidor. Pueden requerirse varios intentos de colocación para lograr estas condiciones.

- c) Proceda en el ensaye de la siguiente manera:
  - Asiente el medidor firmemente
  - Mantenga toda otra fuente radiactiva lejos del medidor para evitar que afecte las medidas
  - Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
  - Haga y anote una o más lecturas de 1 min.
  - Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración previamente establecida.

### 6.- Procedimiento B, Transmisión Directa.

**6.1 Equipo.** El sistema de Transmisión Directa consta básicamente de las unidades que se indican a continuación y aún cuando los detalles exactos de construcción del aparato pueden variar, corresponden a los requerimientos generales descritos en 5.1 además de lo siguiente:

- a) Tanto la fuente gamma como el detector pueden ser alojados en una sonda para insertar en un agujero hecho con anterioridad en el material que se va a ensayar. La sonda deberá marcarse en incrementos de 50 mm para ensayes con profundidades de sonda de 50 a 300 mm. La sonda deberá estar construida de manera que cuando se mueva manualmente a la marca de profundidad deseada se sujete firmemente en esa posición.
- b) La caja, la fuente, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de poder, deben estar dentro de cajas de construcción sólida, a prueba del polvo y la humedad.
- c) Guía destinada a perforar un agujero normal a la superficie preparada.
- d) Un dispositivo para perforar, como un taladro o varilla que tenga un diámetro nominal igual o ligeramente mayor que la sonda, pero que no exceda el diámetro de ella en más de 3 mm de manera que permita construir un orificio en el material a ensayar para acomodar la sonda.

## 6.2 Normalización.

- a) Normalice el equipo en un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y cuando las medidas de los ensayos sean poco confiables.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- c) Con el medidor sobre el patrón de referencia suministrado por el fabricante y la sonda en la posición prescrita por el fabricante para medir la cuenta de referencia, tome por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 min cada una; esto constituye un control de la normalización.
- d) Si el promedio de las 4 lecturas repetitivas resulta fuera de los límites que impone la ecuación que se incluye en 5.2 d), repita el control de normalización. Si el segundo control de normalización satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación. En caso contrario, chequee la calibración; si el chequeo de calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, un nuevo conteo de referencia "N<sub>0</sub>" debería establecerse. Si el chequeo de calibración muestra que hay una significativa diferencia en la curva de calibración, el instrumento deberá repararse y recalibrarse.

## 6.3 Procedimiento.

- a) Seleccione un lugar donde el medidor en posición de ensaye quede por lo menos 150 mm lejos de cualquier proyección vertical.
- b) Prepare el sitio del ensaye de la siguiente manera:
  - Remueva todo el material suelto y perturbado y el material adicional que sea necesario para despejar la superficie del material que se va a ensayar.
  - Prepare un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el medidor, aplanando el área de modo de obtener el máximo contacto entre el medidor y el material que se va a ensayar.
  - El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y alise la superficie con una placa rígida u otra herramienta adecuada. El espesor del relleno no excederá de 3 mm aproximadamente.
  - Haga un agujero perpendicular a la superficie preparada usando la guía y el dispositivo para agujerear. La perforación debe ser de tal profundidad y alineación que la inserción de la sonda no obligue al medidor a inclinarse con respecto al plano del área preparada.
- c) Proceda con el ensaye de la siguiente manera:
  - Incline el medidor y extienda la sonda en la posición requerida para la profundidad deseada del ensaye.
  - Inserte la sonda en el agujero.
  - Asiente el medidor firmemente haciéndolo rotar sobre la sonda con un movimiento hacia atrás y adelante.
  - Presione suavemente el medidor en la dirección que lleve el lado de la sonda que encara el centro del medidor, de modo que la sonda quede en íntimo contacto con la pared del agujero.
  - Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones.
  - Prepare el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
  - Ejecute y anote una o más lecturas de un minuto
  - Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración establecida previamente.

## 7.- Procedimiento C, Colchón de Aire.

### 7.1 Equipos. Debe contar con todos los aparatos descritos en 5.1 y 6.1.

Además deberá disponerse de soportes o espaciadores, para sostener el medidor con el máximo intervalo de aire sobre el material que se está ensayando. Los soportes deben ser diseñados para sostener el medidor a la altura óptima sin tapan la base del medidor. La Lámina 8.502.1.A muestra un soporte típico para colchón de aire. No es el único elemento que da resultados satisfactorios; existen otros sistemas que sostienen el medidor al óptimo colchón de aire sin tapan la base del medidor que también son satisfactorios.

**Nota 7:** Las curvas de calibración para colchón de aire y el óptimo colchón de aire pueden ser suministrados para cada medidor por el fabricante y pueden ser fácilmente chequeados por el usuario.

**7.2 Determinación del Colchón de Aire Óptimo.** Para determinar el colchón óptimo de aire a usar en este procedimiento, ajústese a lo que sigue:

- a) Use 3 o más áreas diferentes para hacer las determinaciones. Estas áreas pueden ser bloques o contenedores preparados de suelo compactado o agregados pétreos. La densidad de los materiales en las áreas seleccionadas variará a través de un rango que incluya las densidades de los materiales que se va a ensayar.
- b) Coloque el medidor sobre el área a ensayar, sostenga el medidor con bloques colocados en las esquinas de modo que no obstruyan el espacio entre la base del medidor y la superficie a ensayar.
- c) Lea y anote 2 lecturas de 1 min, en cuentas por minuto y calcule el promedio de las lecturas.
- d) Agregando bloques adicionales, aumente el intervalo de aire en 5 mm. Tome, anote y promedie 2 lecturas adicionales de 1 min.
- e) Continúe aumentando el intervalo de aire en 5 mm cada vez y calculando los promedios para cada intervalo hasta que haya un descenso en las cuentas por minuto con un incremento del colchón de aire.
- f) En una escala aritmética trace las cuentas por minuto versus los intervalos de aire (en mm) y dibuje una curva suave por los puntos resultantes. Anote el máximo colchón de aire determinado en lo alto de la curva.
- g) Repita el procedimiento desde b) hasta f) en dos o más áreas adicionales de materiales de diferentes densidades y anote el máximo colchón de aire para cada área.
- h) Calcule el promedio de los máximos colchones de aire determinados en todas las áreas; ese será el intervalo de aire óptimo. Use este óptimo para establecer la curva de calibración para el procedimiento y para la determinación de densidades por este método.

### 7.3 Normalización.

- a) Normalice el equipo en un patrón de referencia al inicio de cada día y cuando las medidas de los ensayos sean poco confiables.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo según las instrucciones del fabricante.
- c) Haga por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 min. cada una con el medidor en el patrón de referencia, lo que constituye un control de normalización.

**Nota 8:** La cuenta de referencia determinada en 7.3 c) no se usa en la determinación de densidades, por el método del colchón de aire. El propósito del chequeo de la cuenta de referencia es chequear si el equipo está en condiciones satisfactorias de operación.

- d) Si el promedio de 4 lecturas repetitivas resulta fuera de los límites que impone la ecuación que se incluye en 5.2 d), repita el control de normalización. Si el segundo control de referencia satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación; en caso contrario, chequee la calibración (3.2). Si el chequeo de la calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, debe establecerse un nuevo conteo  $N_0$  de referencia. Si el chequeo de la calibración muestra que hay una diferencia significativa en la curva de calibración, el instrumento debe ser reparado y recalibrado.

### 7.4 Procedimiento.

- a) Seleccione un lugar de ensaye donde el medidor, en posición de ensaye quede por lo menos a 150 mm de cualquier proyección vertical. Aplane el área suficiente para acomodar el medidor y el soporte.
- b) Prepare el lugar de ensaye de la siguiente manera:
  - Remueva todo el material suelto y perturbado y todo el material adicional necesario para dejar libre la superficie de material a ensayar.
  - Prepare un área horizontal, suficiente en tamaño para acomodar el medidor y el soporte, aplanando el área hasta dejarla lisa, para obtener el máximo contacto entre el medidor y el material que se va a ensayar.

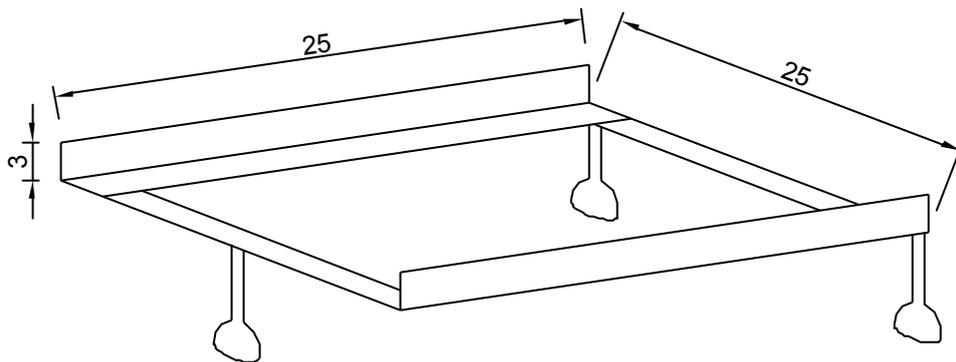
- El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm aproximadamente. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y alise la superficie con una placa rígida o alguna herramienta adecuada.

**Nota 9:** El método del colchón de aire requiere tomar una o más lecturas en la posición de retrodispersión y en la del colchón de aire. La colocación del medidor en la superficie del material a ensayar es crítica para la exitosa determinación de la densidad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie inferior del cabezal y la superficie del material a ensayar. Esto no es posible en todos los casos y para corregir las irregularidades de la superficie use arena o filler si es necesario. El espesor del filler no debe exceder de 3 mm y el área total rellena no debe exceder del 10% del área inferior del medidor. Varias posiciones de ensaye deben probarse para lograr estas condiciones.

**c)** Proceda con el ensaye de la siguiente manera:

- Asiente el medidor firmemente.
- Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones y las lecturas.
- Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- Lea y anote una o más lecturas de 1 minuto en la posición de retrodispersión.
- Coloque el soporte, puesto en el óptimo colchón de aire, en el sitio del ensaye y ponga el medidor en el soporte de modo que el medidor quede en el mismo sitio usado para la lectura de retrodispersión. Cuando se usa una transmisión directa, coloque la sonda en la posición de retrodispersión para esta lectura.
- Tome el mismo número de lecturas de 1 min. en la posición de colchón de aire así como también en la posición de retrodispersión (7.4 c) párrafo 4).
- Determine la razón del colchón de aire dividiendo las cuentas por minuto obtenidas en la posición con colchón de aire por las cuentas por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión.
- Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración aplicable establecida previamente.

**Nota 10:** La razón del colchón de aire puede ser determinada dividiendo las cuentas por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión por las cuentas por minuto obtenidas en la posición de colchón de aire, o viceversa. Cualquiera razón que se use, también debe usarse una Curva de Calibración empleando la misma razón.



## **8.502.2 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD DE SUELOS (MEDICION SUPERFICIAL)\***

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1 Introducción.** Este método define los procedimientos para determinar in situ, el contenido de humedad de suelos y agregados, mediante el empleo de equipo nuclear. Estos equipos están calibrados para determinar el contenido de humedad, como peso por unidad de volumen del material (kilos por metro cúbico).

El término contenido de humedad, como se usa normalmente, se define como la razón, expresada en porcentaje, entre la masa de agua contenida en un suelo y la masa de las partículas sólidas de ese suelo; con este procedimiento se determina dividiendo el contenido de humedad (kilos por metro cúbico) por la densidad seca del suelo (kilos por metro cúbico). Es por ello que el cómputo del contenido de humedad, usando el equipo nuclear, requiere también determinar la densidad seca del material a ensayar.

La mayoría de los equipos nucleares disponibles, son capaces para medir ambos; el contenido de humedad (kilos por metro cúbico) y la densidad húmeda; la diferencia entre estas dos medidas entrega la densidad seca. Debe destacarse que el contenido de humedad que se determina por este método no es necesariamente, el promedio de humedad dentro del volumen de la muestra involucrada en la medida.

El equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operadores, a menos que se tomen las precauciones debidas.

**1.2 Determinación del Contenido de Humedad.** El método determina in situ, el contenido de humedad en suelos y agregados pétreos, por medio de la moderación o disminución de velocidad de neutrones rápidos, cuando la fuente de neutrones y el detector térmico de los neutrones permanecen en la superficie.

\*El Método 8.502.2 es una adaptación de la norma ASTM D 3017 – 78.

**2.- Referencias.** Los procedimientos que se describen se refieren también a los siguientes métodos:

- Método 8.102.9 Suelos: método del cono de arena para determinar la densidad en terreno.
- Método 8.102.2 Suelos: método para determinar el contenido de humedad

### **3.- Procedimiento General y Significado.**

**3.1 Procedimiento.** El contenido de humedad del material ensayado se determina colocando una fuente de neutrones rápidos y un detector térmico de neutrones, sobre o adyacente al material a ensayar. La intensidad o disminución de velocidad de los neutrones moderados depende del contenido de humedad del material ensayado y la humedad se determina por la relación entre el conteo nuclear y el peso del agua por unidad de volumen del suelo.

#### **3.2 Significado.**

- a) El método es útil como una técnica rápida y no destructiva para determinar in situ el contenido de humedad de los suelos y agregados pétreos. Las hipótesis fundamentales inherentes al método son que el hidrógeno presente está en forma de agua y que el material bajo ensaye es homogéneo.
- b) El método es conveniente para el control y ensaye de aceptación de suelos y agregados pétreos para construcción, investigación y desarrollo. Los resultados del ensaye pueden ser afectados por la composición química, heterogeneidad de la muestra y en un menor grado, por la densidad y textura superficial del material ensayado. La técnica también provee un dispositivo corrector para afinar las diferencias de conteos por estas causas.

**3.3 Precauciones de Seguridad.** Los equipos utilizan materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud del operador, a menos que se tomen las adecuadas precauciones. Los operadores de este equipo deben estar familiarizados con las normas de seguridad y radioprotección vigentes. Para operar estos equipos es esencial la instrucción previa del operador sobre los procedimientos rutinarios de seguridad, tales como chequeos de fuga de la fuente, utilización y evaluación del dosímetro, uso de contadores, etc.

#### 4.- Equipos.

**4.1 Fuente de Neutrones Rápidos.** Está constituida por un material isótopo sellado, como el americio - berilio, el radio - berilio o una fuente electrónica, como un generador de neutrones.

**4.2 Detector de Neutrones Lentos.** Cualquier tipo de detector de neutrones lentos, tal como el trifluoruro de boro, el oscilador de cristal o la cámara de fisión.

**4.3 Aparato Lector de Salida.** Generalmente el aparato lector de salida contiene la fuente de alto voltaje necesaria para operar el detector y una fuente de bajo voltaje para operar los equipos de salida y accesorios.

**4.4 Cajas.** La fuente, el detector y el aparato lector deben colocarse en cajas de construcción sólida, a prueba de la humedad y del polvo.

**Nota 1:** La fuente de neutrones, el detector, el lector de salida y la fuente de poder pueden estar guardados separadamente, o pueden estar combinadas e integradas con un sistema medidor de densidad nuclear.

**4.5 Referencia Patrón.** Sirve para controlar la correcta operación del equipo y conteos de efectos ambientales y para establecer condiciones de reproducibilidad de la razón de conteo.

**4.6 Equipo para Preparación del Sitio de Ensaye.** Una plancha de acero, regla, u otro elemento adecuado para nivelar, puede usarse para emparejar el sitio del ensaye a la condición requerida.

#### 5.- Calibración.

**5.1 Curvas de Calibración.** Las curvas de calibración se establecen determinando mediante ensayes, la razón de conteos nuclear de cada una de varias muestras con diferentes contenidos de humedad. Trazando la razón de conteos versus el contenido de humedad conocido, se dibuja una curva por los puntos resultantes. El método y procedimiento de ensaye usado para establecer la curva debe ser el mismo que se usa para determinar el contenido de humedad del material por ensayar. El contenido de humedad de los materiales usados para establecer la curva de calibración deben ser de densidad y humedad uniformes y variar dentro de un rango que incluya el contenido de humedad de los materiales que se van a ensayar.

**Nota 2:** Debido al efecto de la composición química, algunas curvas de calibración suministradas con el equipo pueden no ser aplicables a todos los materiales bajo ensaye. Por otra parte, las curvas de calibración deben ser chequeadas y ajustadas si es necesario, de acuerdo con 5.2 y 5.3.

Las curvas de calibración pueden establecerse empleando los siguientes procedimientos:

- a) Prepare moldes con suelo o agregados pétreos compactados con contenido de humedad conocido; deben ser suficientemente amplios para que no cambie el conteo observado, si se aumenta en cualquier dimensión (Nota 3). Si el contenido de hidrógeno de un material puede ser calculado de su densidad y fórmula química y asegurando que éstas son exactamente conocidas, se puede obtener un punto de calibración más confiable en comparación con los métodos de secado al horno.
- b) Bloques de calibración permanente o compuestos químicos con cantidades normalizadas de hidrógeno que produzcan respuestas al medidor nuclear equivalente a un contenido de humedad conocido (Nota 3). Un material sin hidrógeno tal como magnesio se puede usar para el contenido cero de agua.

**Nota 3:** Dimensiones de aproximadamente 600 mm de largo por 450 mm de ancho y 450 mm de profundidad son suficientemente satisfactorias.

**5.2 Control de las Curvas de Calibración.** Las curvas de calibración para los instrumentos nuevos o reparados, deben controlarse con prioridad en ensayos de materiales que son claramente diferentes a los materiales empleados previamente para obtener la curva de calibración. Estas curvas de calibración pueden comprobarse empleando los procedimientos descritos en 5.1 a).

**5.3 Ajuste de las Curvas de Calibración.** Cuando los moldes preparados con material de humedad conocida se van a usar para chequear la calibración, dibuje la razón de conteos contra cada contenido de humedad conocido como se describe en 5.1. Si los puntos no caen de una manera casual sobre o al lado de la curva de calibración establecida previamente, reemplace la curva original de calibración por otra trazada por los puntos de control.

- a) Si el contenido de humedad de cada uno de los ensayos de comparación determinados por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, está casualmente sobre la curva de calibración establecida previamente y el promedio de la desviación no excede de  $\pm 8 \text{ kg/m}^3$  del contenido de humedad del suelo determinado por el método nuclear, entonces no necesita ajustar la curva de calibración.
- b) Si cada una de las determinaciones del contenido de humedad hecha por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, es mayor que la correspondiente por el método nuclear, ajuste cada subsiguiente determinación nuclear añadiéndole el promedio de la diferencia.
- c) Si cada una de las determinaciones del contenido de humedad hecha por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, es menor que la correspondiente por el método nuclear, ajuste cada subsiguiente determinación nuclear restándole el promedio de la diferencia.
- d) El promedio de la diferencia obtenida según a) ó b) puede ser usado para trazar la curva de calibración corregida, la que debe ser paralela a la curva de calibración original y trazada por la dirección y cantidad que se indica en b) ó c).

## 6.- Procedimiento.

**6.1 Normalización.** La normalización del equipo sobre una referencia patrón se requiere al principio de cada uso y debe realizarse como sigue:

- a) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- b) Tome un mínimo de 4 lecturas repetitivas de al menos 1 min cada una, con medidor en el patrón normal; esto constituye un control de normalización.
- c) Si el promedio de las 4 lecturas resulta fuera de los límites impuestos por la ecuación que se indica a continuación, repita el control de normalización. Si el primero o segundo intento satisfacen esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación y continúe con el procedimiento que se describe en 6.2. La relación empírica para el chequeo de normalización es la que sigue:

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \sqrt{N_0}$$

donde:

- $N_s$  : Promedio de las lecturas repetitivas (ver 6.1 b).  
 $N_0$  : Cuenta establecida previamente para el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas repetitivas).

- d) Si el segundo intento en e) no satisface la ecuación que allí se incluye, chequee el sistema y repare el instrumento, si es necesario. Es posible usar el instrumento en esta condición si puede establecerse una relación satisfactoria de calibración.
- e) Establezca un nuevo  $N_0$  calculando el promedio de 10 lecturas repetidas en el patrón de referencia.
- f) Chequee la curva de calibración de acuerdo con 5.2 y si es necesario ajuste la curva de calibración de acuerdo a 5.3

**6.2 Preparación del Sitio de Ensaye.** Seleccione un lugar para ensaye donde el medidor en posición de ensaye quede por lo menos a 150 mm lejos de cualquiera proyección vertical; prepare el lugar de la siguiente manera:

- a) Retire todo el material suelto y perturbado y remueva material adicional para alcanzar la altura del intervalo vertical que se va a ensayar (Nota 4).
- b) Prepare un área horizontal, de tamaño suficiente para acomodar el medidor, emparejando hasta una condición lisa de modo de obtener el máximo contacto entre la base del medidor y el material que se va a ensayar.
- c) Asegúrese que la depresión máxima de la superficie de apoyo del medidor no excederá de aproximadamente de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para llenar huecos y saque el exceso con una placa rígida u otra herramienta adecuada.

**Nota 4:** En la determinación, el corrector de afinamiento, debiera considerarse por la profundidad a la cual el medidor ha sido instalado.

**Nota 5:** La colocación del medidor en la superficie del material por ensayar es crítica para el éxito de la determinación de la humedad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie de apoyo del medidor y la superficie del material por ensayar. Esto no es prácticamente posible en todos los casos y entonces se hace necesario emplear arena y otro material similar. La profundidad del relleno de arena no debe exceder de 3 mm y el área total rellena no debe exceder del 10% del área del pie del medidor. Varias posiciones de ensaye deben tantearse para lograr estas condiciones.

**6.3 Ensaye.** Proceda de la siguiente manera:

- a) Asiente el medidor firmemente.
- b) Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del instrumento de modo que no afecten las lecturas.
- c) Espere el tiempo suficiente para que el equipo se estabilice, igual que en la normalización.
- d) Coloque la fuente en posición de uso y tome una o más lecturas de 1 min.

**7.- Cálculos.** Si el equipo no proporciona directamente los resultados proceda como sigue:

- a) Promedie las lecturas obtenidas en 6.3 d ).
- b) Determine el contenido de humedad usando una curva de calibración aplicable.
- c) Calcule el contenido de humedad "w" en porcentaje del peso seco del suelo, como sigue:

$$\omega = (A / P_s) \times 100$$

donde:

- A : Cantidad del suelo (kg/m<sup>3</sup>)  
P<sub>s</sub> : Densidad del suelo seco (kg/m<sup>3</sup>)

**8.- Informe.** Incluya en el Informe lo siguiente:

- a) Ubicación.
- b) Elevación de la superficie.
- c) Descripción visual del material.
- d) Identificación del equipo de ensaye (marca, modelo y número de serie).
- e) Razón de conteos para cada lectura, si procede.
- f) Contenido de humedad en kg/m<sup>3</sup>, si procede.
- g) Densidad húmeda del suelo.
- h) Densidad seca del suelo.
- i) Contenido de humedad en porcentaje del peso seco del suelo.

## 9.- Precisión.

**9.1** Determine la precisión del sistema "P" desde la gradiente de la curva de calibración "m" y la desviación normal "s" de las señales (neutrones detectados) en cuentas por minuto, como sigue:

$$P = \frac{s}{m}$$

**9.2** Cuando la gradiente de la curva de calibración es determinada en el punto 160 kg/m<sup>3</sup> y la desviación normal es determinada por 10 lecturas repetitivas de 1 min. cada una (el instrumento no se ha movido después de la primera posición) en un material que tenga un contenido de humedad de 160 ±10 kg/m<sup>3</sup>, el valor de "P" será menor de 4,8 kg/m<sup>3</sup>.



### 8.502.3 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE EXTRACCION DE TESTIGOS.

#### 1.- Alcances y Campo de Aplicación.

**1.1 Generalidades.** Este método define los procedimientos para la extracción de muestras por aserrado, tanto en pavimentos terminados como en obras estructurales. El propósito es, en general, la recepción de las obras, pues los ensayos de las muestras permiten verificar el cumplimiento de las especificaciones, lo que asegura en la mayor medida posible, la calidad y duración de las obras contratadas, minimizando los costos de mantenimiento.

El procedimiento establece la forma como deben extraerse muestras cilíndricas de pavimentos de hormigón y asfalto (base asfáltica, capa intermedia y capa asfáltica) así como de estructuras, tales como puentes, obras de arte, soleras y muros de contención, entre otros.

**1.2 Testigos de Pavimentos Asfálticos.** Las muestras de pavimentos asfálticos están destinadas principalmente, a determinar la densidad y el espesor, con el objetivo de verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño. También, en muchas ocasiones sirven para determinar adicionalmente, el contenido porcentual de asfalto, por medio del ensaye de extracción.

**1.3 Testigos de Pavimentos de Hormigón.** Las muestras de pavimentos de hormigón se emplean principalmente para verificar el espesor de las losas y en menor grado, para determinar resistencias cuando los ensayos realizados en muestras de hormigón fresco, resultan insuficientes para una debida evaluación estadística de la obra. También se utilizan para comprobar la calidad final cuando se han registrado deficiencias durante la construcción.

**1.4 Testigos de Hormigones Estructurales.** En hormigones estructurales, las muestras se ocupan principalmente para determinar espesores y en algunos casos para evaluar la resistencia estructural del hormigón cuando se han registrado deficiencias durante la construcción.

#### 2.- Terminología.

**2.1 Testigo.** Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo fin es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

**2.2 Broca.** Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigerado por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos.

**3.- Equipos.** Existen dos categorías de equipos para la extracción de testigos (testigueras), los que se diferencian por su peso, potencia, rendimiento y maniobrabilidad.

**3.1 Equipos de Alto Rendimiento.** Corresponden a las testigueras de gran peso y potencia, montadas sobre un carro para transporte y que incluyen un sistema hidráulico con dispositivo de fijación, los que se adosan a la superficie para darle al equipo la adecuada estabilidad. Disponen de una bomba y un estanque de agua, lo que les da gran autonomía, permitiendo una alta velocidad y calidad de corte (Ver Lámina 8.502.3.A).

Es conveniente que estas testigueras cuenten con un sistema para el control de la presión de corte que se está aplicando.

**3.2 Equipos de Bajo Rendimiento.** Son equipos portátiles para extraer testigos, que se utilizan preferentemente en estructuras, dada su gran versatilidad, pues son lo suficientemente pequeños y livianos para moverlos e instalarlos con relativa facilidad en el lugar requerido (ver Lámina 8.502.3.B); pueden ser accionados por un motor a explosión o un motor eléctrico.

La desventaja de estas testigueras radica en que cortan con menor velocidad y calidad que los de alto rendimiento, debido a su menor potencia y menor estabilidad por el bajo peso y sistema de fijación.

**4.- Operación de los Equipos.** Los equipos deberán operarse según las indicaciones de los respectivos fabricantes, sin perjuicio de lo cual, el trabajo deberá ajustarse a las disposiciones de seguridad y prevención de riesgos vigentes.

**5.- Procedimiento de Extracción.** Antes de extraer un testigo del pavimento verifique que se encuentre limpio y despejado. Localice el equipo a no menos de 60 cm de los bordes de la pista, siendo preferible colocarlo dentro del tercio central de ella.

En estructuras analice la posición en que conviene extraer el testigo, para que sea representativo del elemento que se pretende controlar; además, determine la posible posición de las enfierraduras, de manera que la extracción no implique debilitar la sección.

Para que la extracción de un testigo resulte eficiente es indispensable tener presente las siguientes consideraciones:

**5.1 Brocas.** Las brocas deben ser las adecuadas respecto a calidad y dimensiones para el tipo de trabajo a realizar y deben encontrarse en buenas condiciones. Normalmente para pavimentos de hormigón se usan brocas de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro y para pavimentos de asfalto de 4 pulgadas (100 mm)

**5.2 Agua.** La presión del agua debe ser suficiente para una adecuada refrigeración, la que incide en una buena operación y en la vida útil de la broca.

**5.3 Presión de Corte.** La presión de corte aplicada debe concordar con la capacidad del equipo empleado.

**5.4 Posicionamiento del Equipo.** El equipo deberá asentarse sobre la superficie de forma que la broca se apoye perpendicularmente sobre ella y los dispositivos de fijación aseguren la estabilidad durante la extracción.

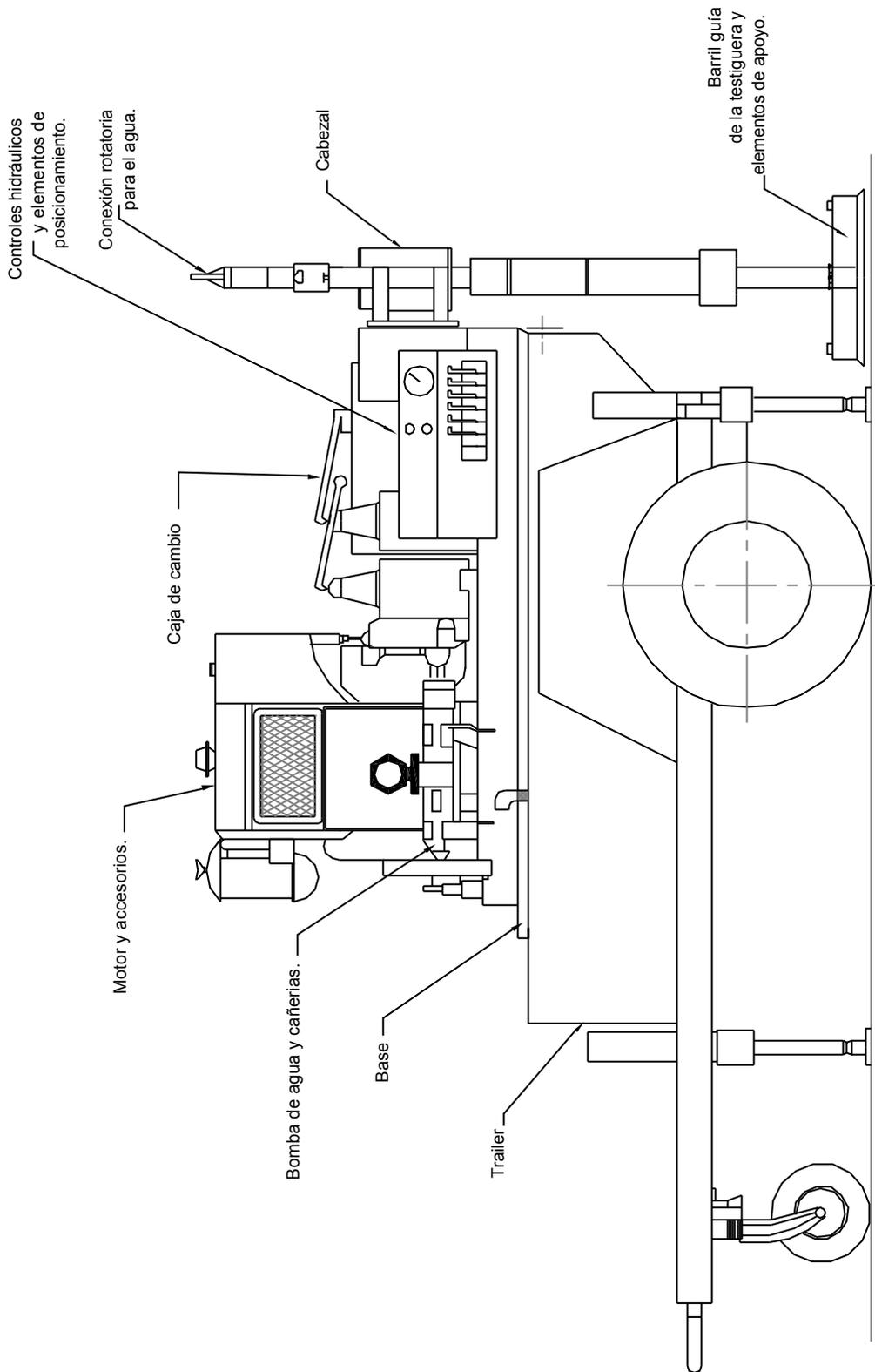
**5.5 Velocidad de Corte.** Inicie el corte a baja velocidad y presión moderada, hasta que los dientes de la broca hayan penetrado en el elemento a muestrear. Una vez alcanzada esa condición, aumente la velocidad y la presión hasta los niveles normales para un adecuado rendimiento; mantenga esos niveles constantes durante todo el tiempo que tome la extracción de manera de asegurar una geometría uniforme en el testigo.

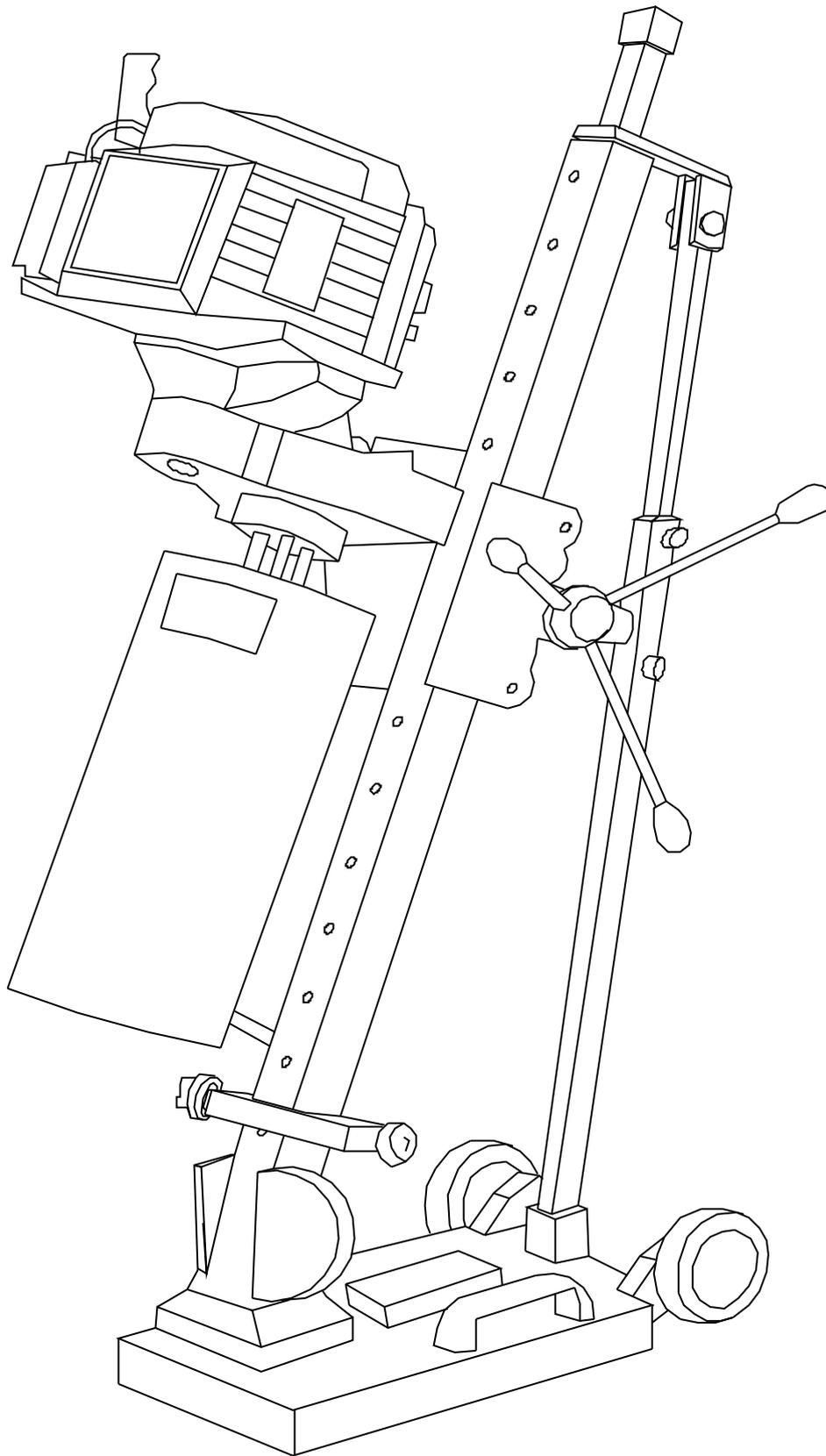
**5.6 Testigos en Pavimentos Asfálticos.** En las extracciones en pavimentos asfálticos, verifique que la temperatura superficial no sea demasiado alta, para evitar que el testigo se disgregue durante la operación.

**5.7 Identificación.** Los testigos extraídos deben identificarse claramente de acuerdo a un código de registro que incluya al menos un número correlativo, el kilometraje y la pista; para marcar utilice pintura u otro producto de marcación indeleble.

**5.8 Embalaje.** Deposite los testigos, previamente marcados e identificados, en bolsas de polietileno de alta densidad, debidamente embalados para evitar que se alteren sus propiedades durante el traslado al laboratorio o sala de ensayos.

**5.9 Almacenamiento.** Almacene los testigos de capas asfálticas en lugares apropiados, sin luz solar directa, temperatura ambiental entre 10° y 30° C y sin condensación, a objeto de mantener inalterada su condición original hasta el momento del ensaye.









## 8.502.4 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE HI-LO

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** El método describe el procedimiento para determinar las irregularidades superficiales de los pavimentos mediante un Detector Hi-Lo. Asimismo especifica las características a que debe ajustarse el equipo para medir, su calibración, operación y mantenimiento.

**2.- Descripción del Equipo.** El Detector Hi-Lo es una regla rodante, conformada por una viga metálica indeformable que se apoya sobre tres ruedas. Al trasladar el instrumento, la rueda dispuesta al centro de la viga y que es la rueda detectora, experimenta desplazamientos verticales debido a las irregularidades (altos y bajos) de la superficie; estas variaciones son amplificadas sobre un cuadrante montado en el centro del equipo, que incluye una escala graduada al milímetro y un rango de  $\pm 10$  mm. Las magnitudes de las irregularidades del pavimento pueden leerse directamente en dicha escala.

El Detector Hi-Lo se opera por medio de una manilla de barra con sistema de dirección que controla la rueda timón delantera; está conformado por los siguientes elementos básicos (ver Lámina 8.502.4.A).

**2.1 Viga Metálica.** Tiene una longitud de  $3.000 \pm 50$  mm y una rigidez adecuada para que el peso propio del equipo no produzca una flecha vertical ( $f_v \leq 0,1$  mm) y no se generen deformaciones transversales ( $f_h \leq 1$  mm). Es deseable que para su maniobrabilidad el material sea de aluminio, o de tal forma que su masa no sobrepase los 40 kg para los equipos de control rutinario.

**2.2 Ruedas de Apoyo.** Deberán ser metálicas, de igual diámetro, con bujes o rodamientos que faciliten sus movimientos y con llantas de goma - neoprene de una dureza de  $80 \pm 5$  shore A se localizarán en los extremos de la viga, de manera que la distancia entre ejes sea de  $3.000 \pm 50$  mm. Sus dimensiones serán las siguientes:

Diámetro :	$200 \pm 10$ mm
Ancho :	$40 \pm 2$ mm

**2.3 Rueda Detectora.** Deberá ser metálica, con buje o rodamiento que facilite su movimiento y con llantas de goma - neoprene de una dureza de  $80 \pm 5$  shore A; deberá ubicarse en el centro de la viga, a una distancia entre ejes de  $1.500 \pm 25$  mm, de cada rueda extrema. Sus dimensiones serán:

Diámetro :	$150 \pm 5$ mm
Ancho :	$30 \pm 2$ mm

**2.4 Sistema Transductor.** Consistirá en un cuadrante tipo abanico, calibrado en milímetros con una amplitud de  $\pm 10$  mm y un sistema de conversión angular de amplificación 1 a 15 mínimo.

**2.5 Misceláneos.** Es recomendable que el equipo cuente con accesorios tales como marcador de tinta, para delimitar las zonas irregulares y una chicharra o sistema de luces que acuse el comienzo y término de las irregularidades superiores a lo admisible.

**3.- Calibración.** Se realizan dos calibraciones diferentes: una tendiente a certificar que el equipo cumple con los requisitos de punto 2 y que se denomina sistemática y otra rutinaria, cuyo objetivo es verificar la posición cero al inicio de las medidas.

**3.1 Calibración Sistemática.** Esta calibración debe efectuarla al inicio de cada faena o por lo menos una vez al año por un laboratorio competente, el que deberá certificar el cumplimiento de las especificaciones en cuanto a dimensiones, dureza de las llantas, sistema de medida y flechas.

a) Calibración de Nivel. La posición de nivel o posición cero de las mediciones corresponde a la recta imaginaria que une tangencialmente las tres ruedas del equipo Detector Hi-Lo. Efectúe la calibración de nivel sistemática apoyando el instrumento sobre un piso o viga plana, sin resaltes,

de una longitud mínima de 3.500 mm, que no sufra ningún tipo de deformación y que se encuentre libre de golpes o alteraciones de cualquier tipo; la tolerancia de desnivel de la superficie de apoyo es de 0,05 mm. Con el equipo apoyado sobre este patrón calibre la posición cero.

- b) **Control de la Escala Milimétrica.** La calibración de la escala milimétrica, grabada en el cuadrante del Hi-Lo, se debe realizar con el equipo montado sobre un piso completamente nivelado. Con la aguja indicadora previamente calibrada y en posición cero, coloque bajo la rueda detectora placas de espesores conocidos entre 1 y 10 mm, para comprobar la concordancia entre lecturas del cuadrante con los espesores de las placas para irregularidades del rango de altos; para controlar la lectura del cuadrante para las irregularidades del rango de bajos, las diferentes placas de calibración se colocan simultáneamente bajo ambas ruedas de apoyo. Cualquier discordancia entre las lecturas del cuadrante y los espesores de las placas de control significa que el instrumento no puede ser aceptado; deberá ser corregido y luego controlado nuevamente hasta que cumpla con la calibración especificada.

Las placas empleadas en la calibración deben tener 30 mm de ancho por 40 mm de largo.

- c) **Verificaciones.** Además, como parte de la calibración sistemática se deberán realizar los siguientes controles:
- Verificar que las características de la viga y flechas estén dentro de tolerancias.
  - Verificar las dimensiones de cada una de las ruedas. La diferencia entre los radios máximo y mínimo debe ser inferior a 0,3 mm.
  - Verificar la dureza de las llantas; si presentan desgaste, éste debe ser uniforme y dentro de las tolerancias aceptadas para los diámetros.
  - Verificar condiciones del estado mecánico.

**3.2 Calibración Rutinaria.** Realice este tipo de calibración inmediatamente antes de emplear el equipo en cada jornada y después de cada transporte dentro de la faena. Consiste esencialmente en el chequeo de la posición cero; control que debe realizarse mediante un banco o viga de calibración nivelado, con una precisión de 0,4 mm.

Alternativamente, el control de nivel, puede efectuarlo con el equipo suspendido en el caballete, determinando la posición cero mediante un hilo nylon de pesca de 1 mm de diámetro, con una tensión mínima de 5 kgf. El hilo debe tensarse uniendo ambas ruedas de apoyo, lo que permite regular la rueda central o detectora de modo que, al cortar luz con ésta, su posición coincida con la lectura cero del cuadrante.

**4.- Operación.** Antes de iniciar la operación de control de las irregularidades superficiales de un pavimento, debe comprobarse que el instrumento se encuentra calibrado de acuerdo a lo estipulado en 3.2 y que el pavimento se encuentra limpio y libre de suciedades que puedan alterar las lecturas del equipo.

Para operar el equipo empuje en dirección predominantemente paralela al eje del camino, a una velocidad de caminata normal y procurando que la rueda detectora no salte. Esta rueda es la que da la posición del equipo, por lo que es necesario tener presente que en todo momento las tres ruedas deben encontrarse dentro de los límites del pavimento por controlar.

En caso de encontrarse una irregularidad mayor a la permisible se procederá de acuerdo a lo señalado en 4.2 a) ó 4.2 b).

**4.1 Operación para Control Correctivo.** Para delimitar la superficie con irregularidades mayores a las permisibles, efectúe sucesivas pasadas, tantas veces como sea necesario, en lo posible separadas 25 cm unas de las otras, determinando la superficie afectada y la magnitud de las irregularidades. Dibuje sobre la superficie del pavimento curvas de nivel, que indiquen las distintas magnitudes de las irregularidades, para proceder a las correcciones de acuerdo a lo especificado en el Contrato correspondiente.

Una vez efectuadas las correcciones, repita el procedimiento para asegurar que la superficie está dentro de los límites aceptables.

**4.2 Operación para Control de Recepción.** Una vez informado el término del control correctivo, proceda a determinar, en forma definitiva, los altos y los bajos, mediante una pasada del detector por cualquier sección longitudinal del camino y de acuerdo con lo que se indica a continuación:

**a) Medición en Asfalto.** Antes de comenzar las mediciones, realice la calibración rutinaria del equipo. Enseguida, coloque el instrumento en la dirección de medición, con la rueda trasera o la central, según corresponda, en el inicio del tramo a medir; luego inicie el avance para medir.

Considere que un sector presenta irregularidad cuando la rueda detectora indica en el cuadrante un valor mayor al máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos) del que se estipula en las especificaciones de lisura del Contrato.

Cuando la aguja sobrepasa el máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), detenga el avance normal, para seguir lentamente con el propósito de determinar si la irregularidad va en aumento y ubicar el valor máximo. A continuación delimite el comienzo y el fin de la zona que presenta irregularidades superiores a las admisibles (indicado por la rueda central). Luego determine el valor opuesto de la irregularidad registrada, para lo cual avance o retroceda el equipo dos metros antes y dos metros después de la zona delimitada. Si la aguja no pasa al otro lado del cero, considere cero; si pasa, considere el máximo valor a que llegó dentro de los cuatro metros. El área afectada se determina sumando cuatro metros a la zona delimitada (dos metros antes y dos metros después de ésta) y multiplicando por el ancho de la pista.

En caso que la distancia entre dos zonas delimitadas sea inferior a cuatro metros, sume dos metros antes y dos metros después de cada zona delimitada. Se origina así una superposición de áreas, obteniéndose dos tramos: uno con la irregularidad mayor, incluida la zona de superposición y el otro con la irregularidad menor, sin incluir la zona de superposición. Determine el área afectada multiplicando cada tramo por el ancho de la pista.

A modo ilustrativo, en la Lámina 8.502.4.B, se incluyen dos ejemplos prácticos de cálculo de áreas afectadas por incumplimiento de lisura en pavimentos asfálticos; se ha supuesto que la máxima irregularidad admisible es de 5 mm.

**b) Medición en Hormigón.** En los pavimentos de hormigón, la unidad de muestreo es la losa, por lo que se multa por losas completas aún cuando sólo una parte presente incumplimiento en la lisura.

Antes de comenzar las mediciones realice la calibración rutinaria del equipo; enseguida, coloque el instrumento en la dirección de medición, con la rueda trasera o la central, según corresponda, en el inicio del tramo a medir; luego inicie el avance para medir.

Considere que una losa presenta irregularidades cuando la rueda detectora indica en el cuadrante, un valor mayor al máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), que se estipula en las especificaciones de lisura del Contrato.

Cuando en una losa la aguja sobrepasa el valor máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), detenga el equipo y luego avance lentamente, para determinar si la irregularidad va en aumento y pueda ubicar el valor máximo dentro de la losa (la irregularidad podría seguir aumentando en la losa siguiente, pero ello correspondería a otra losa).

En seguida determine, dentro de la losa afectada, el valor opuesto de la irregularidad registrada; para ello avance o retroceda el equipo, pero siempre con la rueda central dentro de la losa. Si la aguja no se pasa al lado de los negativos, considere cero; si se pasa, considere el máximo valor que se alcanzó.

**5.- Informe.** Informe los valores de las irregularidades medidas, tanto en pavimentos asfálticos como de hormigón, aproximando al entero absoluto inmediatamente inferior.

El encabezamiento del Informe debe incluir como antecedentes, lo siguiente:

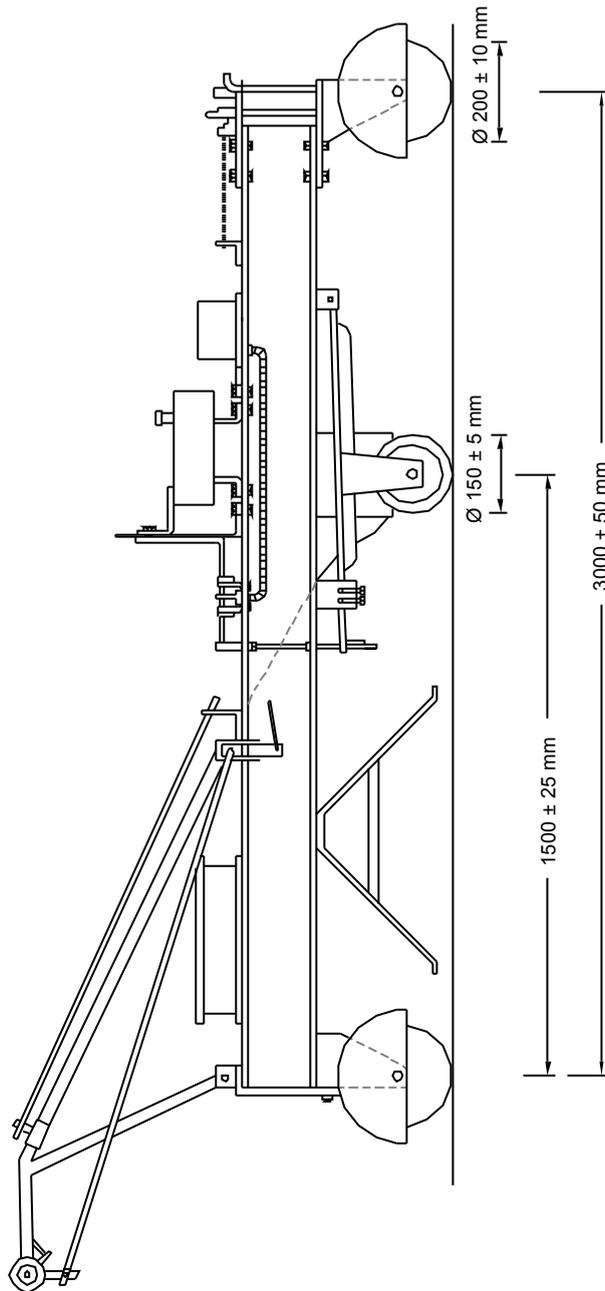
- a) Identificación del contrato (nombre de la obra, sector, provincia, región).
- b) Número y fecha de la resolución que adjudica el contrato.
- c) Empresa constructora.
- d) Tipo de pavimento y fecha de medición.
- e) Tramo medido y pista controlada.

Las Láminas 8.502.4.C y D, muestran los formatos tipo de Informe por utilizar para cada tipo de pavimento y en los que deberá registrar los valores de las irregularidades mayores a las admisibles.

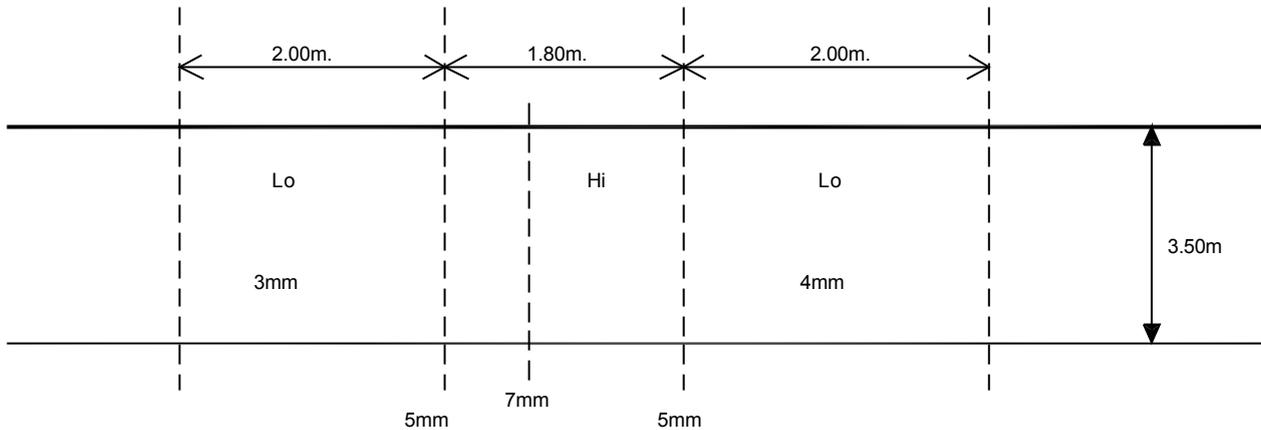
## **6.- Mantenimiento y Transporte.**

**6.1 Mantenimiento.** Se recomienda verificar semanalmente los bujes o rodamientos del rodado, del sistema transductor de las medidas y de la rectitud de la aguja indicadora. Mensualmente verifique el desgaste de la rótula transmisora de los movimientos verticales y el desgaste de las llantas de las ruedas, especialmente de la detectora, que tiende a ovalarse. En caso de detectarse cualquiera de estas deficiencias, se deberá proceder según punto 3.

**6.2 Transporte.** Dada la fragilidad y sensibilidad del Detector Hi-Lo disponga una armazón o caballete estable, firme y liviano, que lo asegure durante los traslados; preste especial cuidado a la fijación de la batiente amplificadora, ya que cualquier oscilación puede provocar la descalibración y/o destrozos en el instrumento. Durante los traslados y transportes deben evitarse los golpes y los movimientos violentos.

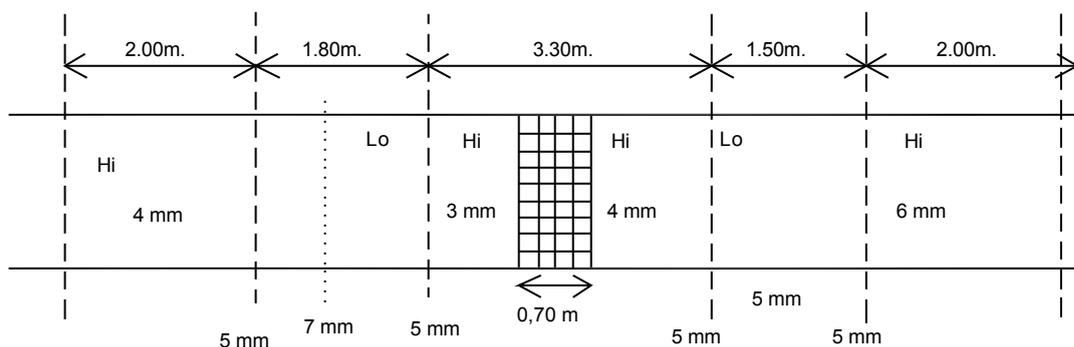


EJEMPLO 1



- Se toma el mayor valor de los altos, que en este caso es de 7 mm
- Los bajos en las zonas de 2 m. son de 3 y 4 mm
- El mayor valor absoluto de irregularidad incluida en las zonas de 2 m. , es igual a 7 mm
- El valor afecto a multa es en este caso:  $(2,00 + 1,80 + 2) \times 3,50 = 20,3 \text{ m}^2$

EJEMPLO 2



- Hay dos zonas afectas a multa, distanciadas en 3,30 m. Se genera, por lo tanto una zona de traslape de  $4,00 - 3,30 \text{ m} = 0,70 \text{ m}$ . que tiene la zona derecha.
- La zona de traslape se agrega a la zona izquierda. Por lo tanto, las áreas afectas a multa son:  
 Area de la zona izquierda a multar =  $(2,00 + 1,80 + 2,00) \times 3,50 = 20,3 \text{ m}^2$   
 Area de la zona derecha a multar =  $(1,30 + 1,50 + 2,00) \times 3,50 = 16,8 \text{ m}^2$



<b>MANUAL DE CARRETERAS</b>	<b>FORMULARIO TIPO INFORME CONTROL DE LISURA MEDIANTE HI - LO PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON</b>	8.502.4.D		
VOL. Nº 8		Diciembre 2003		
Contrato: _____ Resolución: _____ Contratista: _____ Tipo de pavimento: _____ Fecha de control: _____ Tramo : Dm. _____ al Dm. _____ Pista: _____				
Losa (paño)	Ubicación	Irregularidad (mm)		Observaciones
(Nº)	(km)	Alto	Bajo	
TOTAL DE PAÑOS CONTROLADOS:				
TOTAL DE PAÑOS CON IRREGULARIDAD:				
OBSERVACIONES:				
NOTA: 1) Los kilometrajes informados corresponden al balizaje del contrato. 2) Todos los valores de irregularidades informados están aproximados al entero absoluto inmediatamente inferior.				
Entidad a cargo del control:				
Profesional responsable del control:				
				_____ FIRMA

## **8.502.5 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (FWD)**

### **1.- Alcances y Campo de Aplicación.**

**1.1 Alcances.** Este método abarca en general los temas relacionados con las mediciones de deflexión en superficies pavimentadas o sin pavimentar con el Deflectómetro de Impacto. Describe y da recomendaciones generales para la evaluación de la respuesta en deflexiones verticales, que es posible medir en la superficie de la estructura por auscultar, cuando se le aplica en forma controlada una carga de impacto.

**1.2 Campo de Aplicación.** Es aplicable para medir deflexiones en superficies con pavimentos flexibles, pavimentos de hormigón, pavimentos compuestos (recapados), capas granulares y suelos de fundación. Provee lineamientos generales para diferentes niveles de evaluación: reconocimiento general de la estructura de un pavimento, reconocimiento rutinario utilizado para los diseños de proyectos de construcción, refuerzo o rehabilitación, análisis específicos de la estructura de un pavimento y controles de tipo receptivo.

**1.3 Objetivo.** Este método sirve para determinar las deflexiones superficiales por medio de la aplicación de una carga de impacto en la superficie del pavimento o estructura. Las deflexiones resultantes son medidas en el centro y a distintas distancias del lugar de aplicación de la carga. Las deflexiones pueden ser directamente correlacionadas con el comportamiento del pavimento in situ, o utilizadas para estimar las propiedades de los materiales de las capas que conforman la estructura del pavimento.

Estos ensayos se realizan para obtener información que permita evaluar la capacidad de una estructura de pavimento, determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación o subrasante, estimar la capacidad estructural y las propiedades de los materiales de cada capa en forma individual, estimar la transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos de hormigón o pavimentos compuestos (recapados), determinar en forma estadística secciones de pavimento con diferente comportamiento, para el control en diferentes etapas de la construcción de una estructura de pavimento (coronamiento de terraplén, subrasante, subbase, base, capas de rodadura, etc.), para la detección de vacíos bajo las losas de hormigón y para fines receptivos.

### **2.- Referencias.**

- ASTM D 4695 96
- ASTM 4694 96
- ASTM 4602 93
- Transit New Zealand (200) Performance Specified Maintenance Contract PSM 002
- LTPP Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements Operational Field Guidelines August 2000 Falling Weight Deflectometer Relative Calibration Analysis FWDCAL 2001

### **3.- Terminología.**

**3.1 FWD.** Deflectómetro de Impacto, "Falling Weigth Deflectometer".

**3.2 Ensaye de Deflexión.** Ensaye no destructivo realizado sobre una estructura que es sometida al impacto de una masa en caída libre, desde diferentes alturas predeterminadas. Las deformaciones elásticas producidas en la estructura se detectan mediante una serie de sensores ubicados a distintas distancias del punto de carga (incluido el punto de carga). El registro del ensaye lo constituye la carga aplicada y las deformaciones detectadas, además de información complementaria como las temperaturas del pavimento y ambiental.

**3.3 Ensaye de Transferencia de Carga.** Ensaye que se realiza en juntas o grietas de un pavimento de hormigón, para evaluar la capacidad de éste para transferir carga de un lado al otro de la junta o grieta, como también para evaluar la existencia de huecos bajo las losas.

**3.4 Retroanálisis (Backcalculation).** Consiste en ajustar las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de estructura de pavimento, a las deflexiones medidas. Esto permite determinar los módulos elásticos de las capas que componen el pavimento y el del suelo de fundación.

**3.5 Cuenco de Deflexiones.** Conjunto de deflexiones que reflejan la deformación de la superficie auscultada, registrada por todos los sensores del FWD en el momento del ensaye.

#### 4.- Resumen del Método.

**4.1** El ensaye simula un pulso de fuerza generado por la caída de un peso, y es transmitido a través de un plato que descansa en la superficie de la estructura por auscultar. El equipo de ensaye puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo.

**4.2** Se detiene el vehículo, posicionando el plato en el lugar del ensaye junto a los sensores de deflexión, hasta que descansen perpendicularmente sobre la superficie. Luego se levanta la masa hasta una altura predefinida la que al caer libremente aplique la fuerza de impacto deseada. En el momento del impacto se miden los movimientos verticales o deflexiones del pavimento mediante la instrumentación adecuada. Esta instrumentación deberá ser capaz de medir las diferencias de desplazamiento, que se generan entre el reposo inicial y la máxima deflexión alcanzada durante el impacto en cada punto de medición. Deben realizarse al menos dos mediciones sin contar la carga de asentamiento con diferentes alturas de caída de la masa, antes de retirar el plato y los sensores.

**Nota 1:** Debe tenerse presente que para la determinación de presencia de vacíos bajo las losas se deben realizar al menos tres mediciones con distintas alturas.

**4.3** Las deflexiones máximas en cada lugar de medición, resultantes de la aplicación de la carga de impacto, se deberán registrar en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

**4.4** Un dispositivo medidor de carga determina la fuerza máxima aplicada por la masa en el impacto. El valor leído es en kN.

**4.5** En todos los controles se debe registrar la temperatura de la estructura. Esta información es indispensable para la posterior normalización de las deflexiones a 20°C y 50 kN.

**5.- Equipo.** El equipo de medición debe ajustarse a los siguientes requerimientos:

**5.1 Sistema Generador de Fuerza (Carga de Impacto), con un Sistema Guía.** El sistema generador de carga de impacto debe ser capaz de ser levantado a diferentes alturas predeterminadas y luego liberado.

**5.2 Sistema Guía.** Diseñado para operar con mínima fricción o resistencia a la caída de la masa, para asegurar la caída perpendicular de ésta.

**5.3 Plato de Carga.** Debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga en la superficie de la estructura por auscultar. Los platos serán de forma circular de 300 o 450 mm de diámetro, rotulados en la unión con el sistema de guía y pueden o no ser segmentados. El plato debe permitir la medición de deflexión en el centro de éste.

**5.4 Sensores de Deflexión.** Deben ser capaces de medir el desplazamiento vertical máximo del pavimento. El número mínimo de sensores será de cinco y el espaciamiento de éstos será variable dependiendo del propósito del ensaye y de las características de las capas del pavimento. Los sensores pueden ser de diferentes tipos, tales como transductores de desplazamiento, transductores de velocidad o acelerómetros.

**5.5 Almacenamiento de Datos.** En un sistema digital deberán registrarse las cargas, las deflexiones, la temperatura ambiente, la temperatura de la superficie por auscultar, la medición de distancia (referencia planimétrica) y los datos de identificación para cada punto de ensaye.

**5.6 Dispositivo Medidor de Carga.** Este debe ubicarse de manera que no interfiera la lectura de las mediciones de deflexión bajo el centro del plato de carga. El dispositivo debe ser compensado por temperatura, además de resistente al agua y a impactos durante el ensaye y/o traslado del equipo.

**6.- Seguridad.** Aún cuando es un aspecto de primera importancia que se debe tener presente en la programación de una serie de ensayes con el deflectómetro de impacto, en este Método no se describen los temas relacionados con seguridad asociados con su uso. Será de responsabilidad del encargado de operar los equipos poner en práctica las medidas de seguridad estipuladas y establecer las condiciones de operación apropiadas para determinar limitaciones reguladoras antes del inicio del ensaye.

Tanto el vehículo de ensaye, así como todos los equipos e instrumental que lo complementan, deben cumplir la legislación vigente.

## **7.- Calibración.**

**7.1 Calibración de Deflexiones.** Es necesario calibrar de acuerdo a las especificaciones indicadas por el fabricante del equipo.

**7.2 Procedimiento para Verificación.** Se deberá medir un lugar de control de deflexiones antes y después de realizar una campaña de mediciones. El propósito será controlar los valores que esta midiendo el equipo sobre una estructura de pavimento de características conocidas, obteniendo un registro de la deflexiones medidas las cuales deben ser de un orden de magnitud similar si las condiciones de la estructura de pavimento no han cambiado.

**8.- Magnitud de la Carga por Aplicar.** La magnitud de la carga por aplicar es función del tipo de ensaye, pero normalmente en cada uno se suelen aplicar tres niveles de carga dinámica, los que están asociados a las características del pavimento. El encargado de proyecto será quien determine los niveles de carga a utilizar. Si no se indica de otra forma, se utilizará 50 kN.

**9.- Lugares de Ensaye.** Los lugares y el número de ensayes dependen del nivel de muestreo seleccionado. Se sugieren los siguientes tres niveles de muestreo:

**9.1 Nivel 1.** Este nivel provee una impresión general de la condición del pavimento con una cantidad de ensayes limitada. Los ensayes deben realizarse a intervalos entre 200 m y 500 m, dependiendo de las condiciones que presente el pavimento; por cada sección uniforme se recomienda un mínimo de 5 a 10 ensayes para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, como mínimo, la carga debe ubicarse a lo largo de la huella externa de la pista por evaluar, o alternativamente a lo largo del eje de las losas continuamente reforzadas. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ubicarse en el centro de la losa. Al menos el 5 % de las losas en evaluación deben ser ensayadas en sus juntas, para medir su eficiencia en la transferencia de carga.

**9.2 Nivel 2.** Este nivel provee un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo, para el uso de la información en un diseño de rehabilitación. Los ensayes deben realizarse a intervalos entre 25 m y 200 m, dependiendo de las condiciones que presente el pavimento; para cada sección uniforme se recomienda un mínimo de 10 a 20 ensayes. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, como mínimo, la carga debe ubicarse a lo largo de la huella externa de la pista por evaluar o, alternativamente, a lo largo del eje de las losas continuamente reforzadas. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ser ubicada en el centro de la losa y luego movida a la junta más cercana, generalmente al lado de salida. En caminos, calles y autopistas, el ensaye de las juntas se debe llevar a cabo en la huella externa de la pista por evaluar. Generalmente no todas las juntas asociadas a las losas interiores son ensayadas, sin embargo se recomienda un mínimo de 25% de cobertura de ensayes. En pavimentos de hormigón en aeropuertos, las mediciones de eficiencia de transferencia de carga en las juntas son realizadas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

**9.3 Nivel 3.** Este nivel provee un grado detallado de análisis del pavimento, como el que se requiere en estudios específicos de detección de zonas con alta deflexión o detección de huecos bajo los pavimentos de hormigón. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, los ensayos deben ser realizados a intervalos entre 3 m y 25 m, a lo largo de una o más líneas de ensaye. En caminos, calles y autopistas, los ensayos se realizan en ambas huellas de cada pista. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ubicarse en el centro de la losa y luego moverse a la junta o grieta mas cercana, ya sea a lo largo de la huella externa o en la esquina de la losa o a ambas. En pavimentos de hormigón en aeropuertos, las mediciones de eficiencia de transferencia de carga en las juntas se deben ejecutar tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

## 10.- Procedimiento de Ensaye.

**10.1 Rendimiento.** En condiciones normales el equipo FWD puede recoger aproximadamente 150 puntos de ensaye por día, aún cuando ello depende de los traslados que se deban realizar y de las limitaciones que presente el tránsito y sin considerar eventuales fallas del equipo.

**10.2 Secuencia del Ensaye.** Siga el siguiente procedimiento para realizar una campaña de ensayos completa con FWD.

- a) Determine las variaciones de los tipos de pavimento dentro de los límites del proyecto. Desarrolle una planificación de ensayos separada para cada tipo de pavimento.
- b) Determine los atributos del proyecto, ya que estos influyen la planificación de los ensayos. Es muy útil preparar un esquema del proyecto que identifique al menos todos los cambios de pavimento, las intersecciones a nivel o desnivel, las pistas de viraje, los puentes, áreas de servicio, tipos de bermas, etc.
- c) Determine el tamaño de cada atributo del proyecto, lo que le permitirá estimar las demandas de ensayos FWD requeridas para el proyecto, basadas en el supuesto que se pueden realizar aproximadamente 150 ensayos por día.
- d) Determine la geometría del proyecto, pues ella influenciará la ubicación de los puntos por ensayar, ya que se deben tener en cuenta los aspectos relacionados con el flujo y seguridad del tránsito durante los ensayos.
- e) Determine las secciones de ensaye. Utilice la información recopilada en las etapas precedentes para seleccionar las secciones por evaluar con FWD. Los largos de las secciones y la geometría del proyecto determinarán la configuración de los puntos de ensaye.
- f) Determine el tipo de ensaye FWD por realizar en cada sección. Existen tres tipos de ensaye FWD, el ensaye base, el ensaye de junta y el de esquina (los dos últimos sólo en pavimentos de hormigón). El ensaye base se utiliza para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, siendo también utilizado en materiales de base y subrasante. El de junta se usa para evaluar la capacidad de transferencia de carga en juntas y grietas, como también evaluar la presencia de huecos bajo pavimentos de hormigón. El de esquina tiene por objetivo evaluar la condición de las esquinas de una losa, y la presencia de huecos bajo ésta, esta zona es la que está sometida a la mayor sollicitación de tensiones. La siguiente tabla indica las características que deben tener los ensayos según tipo de pavimento y objetivos del estudio:

**TABLA 8.502.5.A**  
**CARACTERISTICAS DE LOS ENSAYES SEGUN**  
**TIPO DE PAVIMENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

<b>Pavimento</b>	<b>Ensaye</b>	<b>Plato carga</b>	<b>Ubicación de los puntos de ensaye</b>
Flexible	Base	300 mm	Huella derecha o paño
Rígido	Base	300 mm	Centro de losa
	Junta	300 mm	Huella derecha
	Esquina	300 mm	Esquina / En juntas
Compuesto	Base	300 mm	Centro de losa
	Junta	300 mm	Huella derecha
Subrasante / Base granular	Base	300/450 mm	Huella derecha

- g)** Defina un número que caracterice el ensaye de manera de disponer de información relativa al tipo de ensaye, tipo de pavimento y espaciamiento de sensores utilizado. Anote las características de la estructura de pavimento que está siendo evaluada (espesores, tipos de capas que lo constituyen, características del suelo de fundación, etc).
- h)** Determine el espaciamiento de ensaye con FWD para cada sección del proyecto, utilizando como recomendación lo indicado en el numeral 8.
- i)** Configure el sistema de recolección de datos del FWD para satisfacer los requerimientos establecidos por el proyecto.
- j)** Realice las mediciones en terreno, registrando la temperatura ambiente y de la superficie del pavimento en forma regular.

**11.- Información y Resultados.** El parámetro que se utiliza de forma determinante y que ofrece mayor significado en los procesos de rehabilitación y de cálculo de refuerzo de estructuras de pavimentos, es la deflexión bajo una carga. La deflexión es el valor del desplazamiento en la superficie del pavimento al aplicarle una carga.

**11.1** El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que se destacan: la rigidez y espesor del pavimento, su temperatura, además del soporte del suelo de fundación

**11.2** Los resultados de la auscultación con deflectómetro de impacto se deben organizar en archivos magnéticos que contengan información sobre los siguientes aspectos:

- a)** Fecha (día, hora, minuto) del ensaye.
- b)** Valor de la deflexión bajo la carga y de los demás sensores.
- c)** Temperatura del aire y del pavimento.
- d)** El kilometraje

**11.3** Los resultados de las auscultaciones con deflectómetro de impacto requieren dos tipos de análisis: en primer lugar un tratamiento estadístico, que permita identificar y agrupar tramos con igual comportamiento estructural, y un segundo tipo de análisis que se realiza para cada tramo homogéneo, y que tiene el objetivo de evaluar los módulos elásticos de las capas de pavimento y su fundación.

El procedimiento de mayor difusión internacional para el análisis de las deflexiones se conoce con el nombre de "Retroanálisis" o "Backcalculation" que consiste en ajustar las deflexiones medidas a las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de estructura de pavimento (definido por espesores conocidos y módulos por determinar). Para ello se necesita trabajar con todo el cuenco de deflexiones. El proceso es complejo y requiere experiencia, ya que puede haber diversos ajustes, siendo necesario un conocimiento acabado de los modelos de comportamiento de estructuras de pavimentos



## **8.502.6 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES ELASTICAS DE LOS PAVIMENTOS A PARTIR DE LA DEFLECTOMETRIA DE IMPACTO (FWD).**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Se describe un procedimiento que permite calcular las propiedades elásticas de las distintas capas de la estructura de un pavimento a partir de deformaciones medidas con un deflectómetro de impacto. Corresponde a un modelo matemático en el que, dada una deformación del pavimento ante una carga conocida, calcula el conjunto de propiedades elásticas de las capas que reproducen esta deformación (retroanálisis).

### **2.- Referencias.**

- Método 8.502.5 Auscultaciones y Prospecciones: Método para Medir Deflexiones Mediante el Deflectómetro de Impacto.

### **3.- Descripción del Método**

**3.1 Pavimentos Flexibles.** Para pavimentos flexibles, el procedimiento que se describe permite utilizar los resultados en el método de diseño de pavimentos AASHTO; por ello en el retroanálisis de las deflexiones se utiliza un modelo simplificado de dos capas; una superior (capas aglomeradas y granulares) para la cual calcula el módulo elástico y el Número Estructural Efectivo y una inferior (suelo de fundación) para la cual calcula el Módulo Resiliente.

**3.2 Pavimentos Rígidos.** Para pavimentos rígidos, las deflexiones medidas en el centro de la losa permiten, mediante métodos elásticos de retroanálisis, evaluar las características elásticas del pavimento y del suelo de fundación. Para ello, modela al pavimento de hormigón como un sistema de dos capas; una superior, que con el espesor de la losa calcula el módulo elástico y otra inferior, que corresponde al suelo de fundación, para el que calcula el módulo de reacción.

Por otra parte, las deflexiones medidas en juntas y grietas, permiten analizar la estabilidad de las losas y la transferencia de carga en esos lugares; ello permite determinar la posible reflexión de grietas, cuando la solución propuesta es un refuerzo.

Por su parte, las deflexiones medidas en las esquina de las losas, permiten establecer su estabilidad, mediante el análisis de las deflexiones a distintos niveles de carga; esto determina la existencia de huecos bajo las losas, originados en la surgencia (bombeo) de finos.

### **4.- Análisis de las Deflexiones.**

#### **4.1 Método AASHTO.**

##### **4.1.1 Pavimentos Flexibles.**

###### **4.1.1.1 Módulo Resiliente**

El Módulo resiliente se determina por retroanálisis de acuerdo a la expresión

$$M_{RR} = \frac{2,4 \times P}{d_r r}$$

y debe cumplirse que:

$$r \geq 0,7 a_e$$

donde:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left( D \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_{RR}}} \right)^2}$$

donde:

$$d_0 = 1,5p a \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_{RR}}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right\}$$

donde:

- $M_{RR}$  = módulo resiliente obtenido por retroanálisis, MPa
- $P$  = carga aplicada, kN
- $d_r$  = deflexión a la distancia  $r$  del centro de la carga, cm
- $r$  = distancia desde el centro del plato de carga al transductor, cm
- $a_e$  = radio del bulbo de tensiones en la interfaz subrasante, cm
- $a$  = radio de la placa de carga, cm
- $D$  = espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante, cm
- $E_p$  = módulo efectivo de todas las capas de pavimento sobre la subrasante, MPa
- $d_0$  = deflexión medida en el centro de la placa de carga, cm
- $p$  = presión de la placa de carga, MPa

**4.1.1.2 Número Estructural Efectivo.** Con los datos anteriores, se determina el número estructural efectivo del pavimento mediante la relación:

$$NE_e = 0,02364D \sqrt[3]{E_p}$$

donde:

- $D$  = espesor total de todas las capas sobre la subrasante, cm
- $E_p$  = Módulo efectivo del pavimento, MPa

#### 4.1.2 Pavimentos Rígidos.

**4.1.2.1 Módulo de Reacción.** Para calcular el módulo de reacción de la subrasante por retroanálisis,  $k_r$ , se emplean las siguientes fórmulas:

$$k_r = \frac{P}{0,815776 d_0 l_k^2} \left[ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left( \frac{a}{l_k} \right)^2 \right] \quad (\text{MPa})$$

donde:

- $P$  = carga aplicada, kgf
- $d_0$  = deflexión máxima, cm
- $l_k$  = radio de rigidez relativa, cm
- $a$  = radio del area cargada, cm
- $\gamma$  = constante de Euler ( $\gamma = 0,57721566490$ )

donde:

$$I_k = \left[ \frac{\ln\left(\frac{36 - \text{AREA}}{1812,279133}\right)}{-2,559340} \right]^{4,387009}$$

donde:

$$\text{AREA} = 6 \left( 1 + 2 \left( \frac{d_{30}}{d_0} \right) + 2 \left( \frac{d_{60}}{d_0} \right) + 2 \left( \frac{d_{90}}{d_0} \right) \right)$$

donde:

$d_0$  = deflexión máxima en el centro de la placa de carga, cm.  
 $d_i$  = deflexiones a 30, 60 y 90 cm.

**4.1.2.2 Módulo Resiliente.** De acuerdo a lo establecido por AASHTO es posible estimar el módulo resiliente mediante la expresión:

$$M_{RR} = \frac{2,4 \times P}{d_r r}$$

siempre y cuando la deflexión utilizada sea la correspondiente a un sensor ubicado a una distancia mayor o igual a 120 cm, para deflexiones en el centro de losas sanas.

**4.1.2.3 Transferencias de Carga.** Cuando se realiza una deflexión ubicando el plato de carga en la losa de salida respecto de una junta, es posible evaluar la transferencia de carga en esta junta mediante la expresión:

$$\text{TC}\% = 100 \times \frac{D_{30}}{D_0} \times \left( \frac{D_0^*}{D_{30}^*} \right)$$

donde:

$D_0$  = es la deflexión en el plato de carga ubicado en la losa de salida  
 $D_{30}$  = es la deflexión en el sensor a 30 cm del plato de carga sobre la losa de entrada.  
 $D_0^*$  y  $D_{30}^*$  = son las deflexiones en el punto carga y a 30 cm para una deflexión en el centro de la losa. Este cociente conservadoramente puede considerarse 1.

**4.1.2.4 Vacíos bajo las losas.**

- Método de proyección a carga cero. Se realizan deflexiones en la esquina exterior de la losa de salida de una junta, a tres niveles de carga distintos. Cada nivel de carga producirá una deflexión máxima diferente y asociada al nivel de carga. Considerando estos resultados se calcula la deflexión proyectada a carga cero kN. La existencia de deflexiones proyectadas con magnitudes mayores a cero indica la existencia de vacíos bajo la losa.
- Método de deflexión diferencial. Se realizan deflexiones en las esquinas exteriores de las losas de entrada y salida a un nivel de carga superior a 40 kN. Se compara las deflexiones máximas a ambos lados de la junta. Se informa la diferencia en micrones de ambas deflexiones. Se grafica con respecto al kilometraje las deflexiones de entrada y simultáneamente con las deflexiones de salida, la existencia de una diferencia sistemática entre ambas curvas indica la existencia de vacíos bajo las losas.

**4.2 Métodos Computacionales.** Para determinar los módulos de las diferentes capas, analizar el comportamiento del pavimento y otros análisis mecanísticos, se pueden también utilizar programas que utilizan la teoría elástica de capas o de placas u otro modelo; entre ellos, MODULUS KENLAYER, KENSLAB, BISDEF, WESDEF, EVERCALC.

### 4.3 Análisis de Deflexiones en Recapados.

**4.3.1 Asfalto sobre asfalto.** (ORD LNV N° 10024/00409). Para evaluar estructuralmente un recapado asfáltico construido sobre un pavimento existente estructurado en base a capas asfálticas y determinar el cumplimiento del número estructural requerido según el proyecto de ingeniería, se recomienda considerar la siguiente metodología, que utilizando un método no destructivo pretende en forma más exhaustiva efectuar un control de calidad del recapado considerado en el proyecto.

Para ello se utilizará la Deflectometría de impacto que, mediante el método de retroanálisis definido en la guía AASHTO, permite determinar el número estructural efectivo del pavimento.

En términos generales la metodología propuesta es la siguiente:

1. Determinación de tramos homogéneos en términos estructurales. La evaluación del número estructural del recapado se efectuará por sectores homogéneos y por pista, entendiéndose por tramo homogéneo el que presenta en términos nominales una estructura similar, de esta forma se establece un tramo que en términos de respuesta estructural debiera presentar características similares.  
Los tramos que siendo homogéneos en estructura se encuentren ubicados en distintos sectores dentro de una misma pista podrán ser agrupados en uno solo.
2. La deflectometría de impacto se deberá realizar con una densidad mínima de 20 deflexiones por kilómetro por pista, con un mínimo de 5 deflexiones para tramos con longitud menos a 500 m.
3. Procesar la deflectometría mediante retroanálisis AASHTO, utilizando los espesores nominales de las estructuras. Es decir, los espesores considerados en el proyecto tanto para las capas asfálticas y granulares existentes, como los espesores de diseño del recapado. Con esto, para cada flexión, se obtiene el número estructural efectivo total (NE<sub>et</sub>). Para cada tramo homogéneo el proyecto contempla un número estructural existente (NE<sub>ex</sub>), que provenía de una Deflectometría anterior. Con esto se obtiene para cada deflexión el número estructural efectivo del recapado como:

$$NE_{er} = NE_{et} - NE_{ex}$$

4. En cada tramo homogéneo se procede a determinar sectores homogéneos, realizando un análisis de diferencias acumuladas (AASHTO 93) y un análisis estadístico (prueba de hipótesis de igualdad de las medias) para subtramificar a partir de NE<sub>er</sub>. Este análisis puede realizarse agrupando los tramos homogéneos que presenten la misma estructura, y pueden analizarse como un solo conjunto de valores.  
Cada sector homogéneo resultante de la aplicación de esta metodología indica un mismo aporte estructural, y por lo tanto el número estructural efectivo del recapado representativo del sector homogéneo será el valor medio.
5. Determinación del número de testigos a extraer por cada sector homogéneo para efectuar el retroanálisis final de la Deflectometría.  
Hasta el momento el valor representativo del número estructural efectivo de recapado se ha logrado en términos nominales ya que los espesores utilizados en el retroanálisis AASHTO han sido los espesores teóricos o nominales del proyecto, por lo tanto, deben ser ajustados a los espesores reales de terreno.  
Si eventualmente se tienen dos o más sectores homogéneos consecutivos de una longitud inferior a 1 km y que en términos nominales su número estructural efectivo de recapado sea mayor al requerido, estos podrán ser unidos en uno solo de manera de no sobredimensionar la cantidad de testigos a extraer.  
Todos los sectores homogéneos que nominalmente no cumplan lo requerido se considerarán individualmente para la determinación del número de testigos a extraer.  
En cada sector homogéneo resultante se extrajeron testigos para verificar los espesores reales a razón de:
  - Para sectores homogéneos de longitud menor o igual a 500 m, se extraerá 1 testigo.
  - Para sectores con longitud entre 500 m y 5.000 m, se extraerán 3 testigos.

- Para sectores homogéneos de longitud mayor a 5.000 m se extraerán 5 testigos. Además, en cada sector homogéneo en que el valor medio nominal sea menor al requerido se analizarán los resultados del retroanálisis punto a punto, para determinar valores extremos inferiores, que requieran algún análisis particular. Para ello se compara el número estructural efectivo del recapado ( $NE_{er}$ ) en cada punto con el número estructural de recapado requerido ( $NE_{rr}$ ), considerando un límite de variación constructivo definido como el  $NE_{min}$ , en que:

$$NE_{min} = NE_{rr} * 0,75$$

Los valores que sean inferiores a este límite se considerarán anómalos y se requerirá un testigo especial para tal caso, de manera de acotar puntualmente la estructura.

6. Con el promedio de los espesores reales en cada sector homogéneo se reprocesa la deflectometría de impacto para ajustar los valores de número efectivo de recapado obtenido. Una vez ajustados los números estructurales efectivos de recapado, se compara el valor medio de cada sector homogéneo con el número estructural efectivo de recapado requerido por el proyecto.

**Nota:** Esta metodología teórica presentada puede sufrir eventuales variaciones en cuanto las experiencias y el desarrollo tecnológico amerite nuevas consideraciones u otras variaciones.

**4.3.2 Asfalto sobre hormigón** (ORD LNV N° 00593 (29.08.2002)). Este caso AASHTO lo considera similar a un pavimento de hormigón con la salvedad que corrige la deflexión máxima (en el punto de carga) por efecto de la compresión de la mezcla asfáltica que constituye el recapado, sin embargo, como el objetivo es evaluar el número estructural de los recapados, para ello, se presenta la siguiente metodología:

- Efectuar deflectometría de impacto mediante Falling Weight Deflectometer (FWD), determinando en cada punto el cuenco de deflexiones necesario para el análisis en pavimentos de hormigón.
- Efectuar análisis estructural, utilizando como datos de entrada adicional a las deflexiones, espesores de testigos del recapado asfálticos y antecedentes del hormigón antiguo, determinando los principales parámetros según modelo de pavimento rígido (Deflexiones,  $E_{pcc}$ ,  $K$ , etc.).
- Estimar el Número Estructural Total después del recapado según modelo, para los datos de cada punto.

$$NE_t = \frac{FC}{D_0^{0,40647786} \times K^{0,19848453}}$$

donde:

$NE_T$  : Número estructural total del pavimento según modelo flexible (mm)  
 $D_0$  : Deflexión bajo el centro de la carga  
 $K$  : Módulo de reacción de la subrasante (MPa/m)  
 $FC$  : Factor de corrección (Normalmente  $FC = 2747,5$ )

- Ajustar el modelo para los puntos donde se extrajeron testigos (espesores totales).
- Determinar Número Estructural del Recapado por la diferencia entre el Número Estructural Total estimado a partir de Deflectometría de Impacto y el Número Estructural Existente a partir de espesores de pavimento.

$$NE_{rec} = NE_T - NE_{EX}$$

Considerar el  $a_i$  de hormigón de acuerdo a:

$a_i = 0,272 \log (E_c/3000) + 0,158$        $a_i \leq 0,43$       ( $E_c$  en Mpa) con  $E_c$  Módulo del Hormigón retroanalizado (MPa)

$$NE_{EX} = \sum a_i h_i m_i$$

Para este efecto se evalúa el coeficiente estructural del hormigón existente mediante el Módulo elástico del hormigón obtenido mediante la deflectometría de impacto, el espesor de hormigón y una capa de subbase de acuerdo a los antecedentes.



## **8.502.7 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE DEFLEXION CORRESPONDEN A LA MISMA POBLACION**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Para la evaluación estructural de un pavimento resulta necesario determinar tramos que presenten comportamientos homogéneos, de manera de evaluarlos mediante los estadígrafos que los representan (promedio, percentil 80%, etc).

Por otra parte, cada parámetro de la deflectometría puede ser utilizado como indicador del pavimento y con él realizar un análisis de la homogeneidad de la estructura. Para realizar este análisis de homogeneidad, se requiere de herramientas estadísticas para separar o unir tramos homogéneos.

Inicialmente siempre se va a requerir de una herramienta que permita sectorizar un muestreo de deflectometría en tramos homogéneos y luego, al tener una determinada cantidad de tramos homogéneos, se requerirá de otra herramienta estadística que permita unir algunos subtramos que estadísticamente sean similares.

### **2.- Terminología.**

**2.1 FWD.** Deflectómetro de Impacto, "Falling Weigth Deflectometer".

**2.2 Hipótesis Estadística.** Con el objeto de tomar decisiones es útil hacer supuestos o suposiciones acerca de la población involucrada. Tales supuestos, que pueden o no ser verdaderos, se denominan Hipótesis Estadísticas

**2.3 Hipótesis Nula.** Las Hipótesis Estadísticas que se formulan con el único propósito de rechazarlas se denominan Hipótesis Nulas y se denotan como **H<sub>0</sub>**. Una hipótesis que difiere de otra dada se denomina Hipótesis Alternativa, la hipótesis alternativa a la nula se denota como **H<sub>1</sub>**.

### **3.- Métodos Estadísticos.**

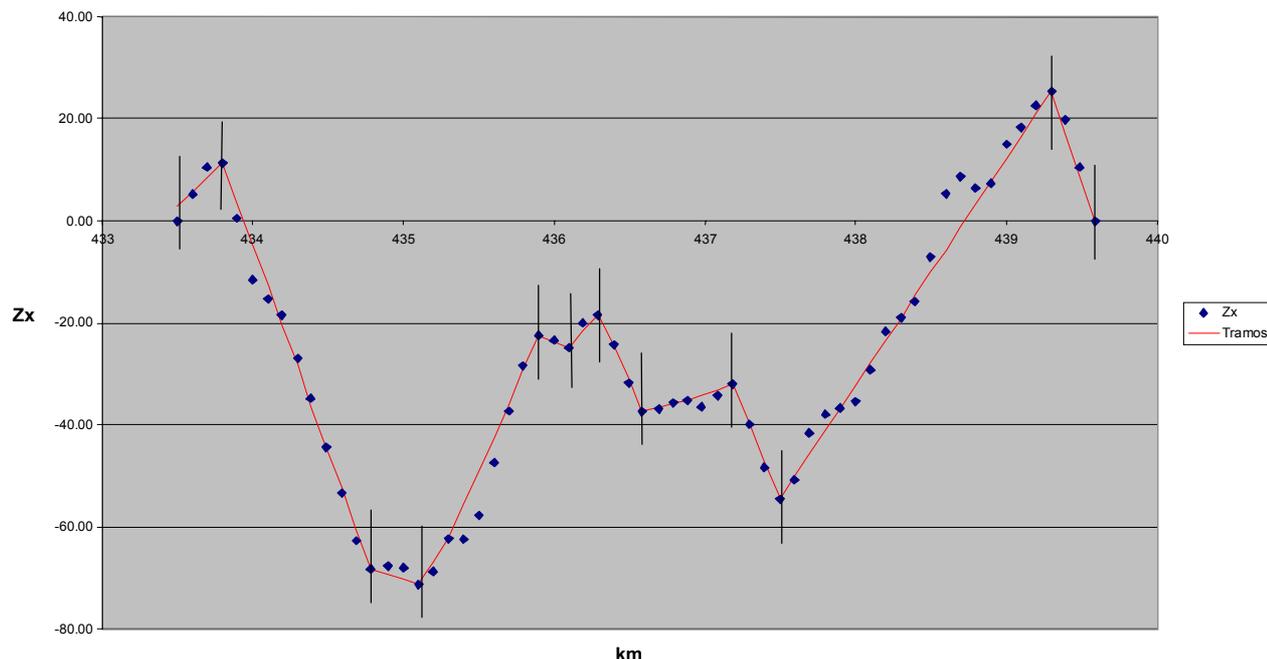
#### **3.1 Método de Sectorización por Diferencias Acumuladas.**

Este procedimiento analítico se basa en el hecho matemático de que cuando la variable  $Z_x$  (definida para un parámetro dado, como la diferencia entre el área bajo la curva a una distancia  $x$  y el área cubierta por el promedio general del parámetro a esta misma distancia) se grafica como una función de la distancia a lo largo del proyecto, es posible definir bordes de sub-tramos homogéneos en los lugares donde la pendiente de esta curva cambia de signo.

En el gráfico siguiente se muestra un ejemplo de la variable  $Z_x$  (diferencia acumulada) como función de la distancia.

La Tabla 8.502.7.A indica el procedimiento de cálculo para las diferencias acumuladas.

Ejemplo: Gráfica de Zx (Diferencia acumulada) como función de la distancia



**TABLA 8.502.7.A**  
**SOLUCIÓN TABULAR PARA EL METODO DE DIFERENCIA ACUMULADA**

Distancia	Valor Parámetro (P <sub>i</sub> )	Número de intervalo (n)	Intervalo de distancia (DX <sub>i</sub> )	Distancia acumulada (ΣDX <sub>i</sub> )	Promedio de Parámetro en el intervalo (Π <sub>i</sub> )	Area del intervalo (A <sub>i</sub> )	Area acumulada (ΣA <sub>i</sub> )	Zx= (ΣA <sub>i</sub> ) - F*(ΣDX <sub>i</sub> )
10	P <sub>1</sub>	1	DX <sub>1</sub>	DX <sub>1</sub>	Π <sub>1</sub> =P <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> =Π <sub>1</sub> DX <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> - F* DX <sub>1</sub>
20	P <sub>2</sub>	2	DX <sub>2</sub>	DX <sub>1</sub> +DX <sub>2</sub>	Π <sub>2</sub> =(P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> )/2	A <sub>2</sub> =Π <sub>2</sub> DX <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub>	(A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> ) - F*( DX <sub>1</sub> +DX <sub>2</sub> )
30	P <sub>3</sub>	3	DX <sub>3</sub>	DX <sub>1</sub> +DX <sub>2</sub> +DX <sub>3</sub>	Π <sub>3</sub> =(P <sub>2</sub> +P <sub>3</sub> )/2	A <sub>3</sub> =Π <sub>3</sub> DX <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> +A <sub>3</sub>	(A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub> +A <sub>3</sub> ) - F*( DX <sub>1</sub> +DX <sub>2</sub> +DX <sub>3</sub> )
.....								
Lp	P <sub>n</sub>	N <sub>t</sub>	DX <sub>nt</sub>	DX <sub>1</sub> +.....+DX <sub>n</sub>	Π <sub>nt</sub> =(P <sub>n-1</sub> +P <sub>n</sub> )/2	A <sub>nt</sub> =Π <sub>nt</sub> DX <sub>nt</sub>	A <sub>1</sub> +...+A <sub>nt</sub>	(A <sub>1</sub> +...+A <sub>nt</sub> ) - F*( DX <sub>1</sub> +...+DX <sub>n</sub> )
At= A <sub>1</sub> +...+A <sub>nt</sub>								
F=At / Lp								

Una vez realizada la tramificación por diferencia acumulada se cuenta con una serie de subtramos que pueden ser agrupados convenientemente. Esta agrupación debe obedecer a un criterio específico que puede ser estadístico, constructivo, de diseño o económico.

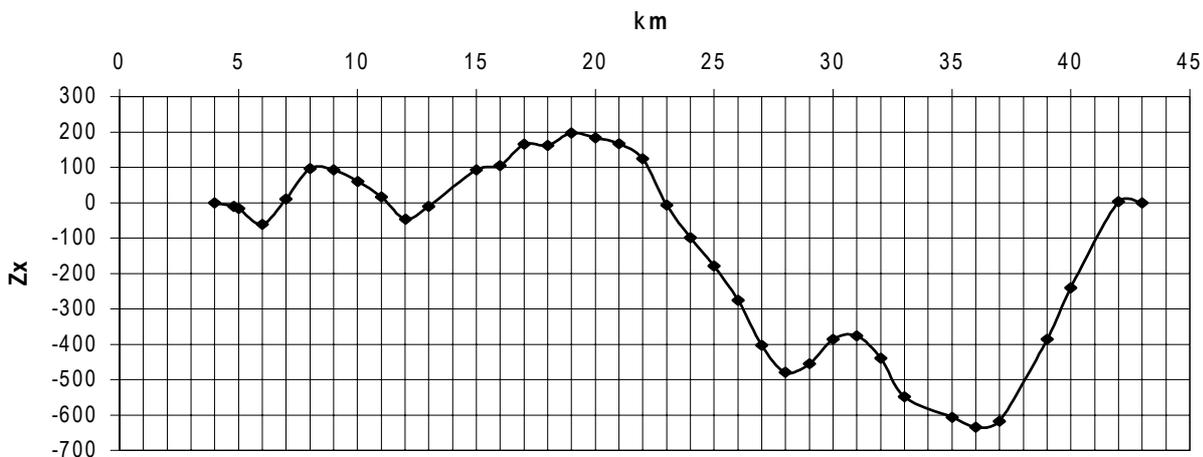
### 3.1.1 Ejemplo de Cálculo

Se dispone de una muestra de deflexión de un camino.  
Realizando el ciclo definido en la Tabla 8.502.7.A, se obtiene la siguiente tabla.

km	P <sub>i</sub>	D <sub>xi</sub>	Σ D <sub>xi</sub>	Π <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	Σ A <sub>i</sub>	Z <sub>x</sub>
4,000	230	0,000	0,000	230,0	0,000	0,000	0,00
4,800	236	0,800	0,800	233,0	186,400	186,400	-10,90
5,000	204	0,200	1,000	220,0	44,000	230,400	-16,23
6,001	199	1,001	2,001	201,5	201,701	432,101	-61,40
7,000	438	0,999	3,000	318,5	318,182	750,283	10,40
8,000	228	1,000	4,000	333,0	333,000	1.083,283	96,77
9,000	258	1,000	5,000	243,0	243,000	1.326,283	93,14
10,010	170	1,010	6,010	214,0	216,140	1.542,423	60,18
11,000	234	0,990	7,000	202,0	199,980	1.742,403	16,00
12,021	136	1,021	8,021	185,0	188,885	1.931,288	-46,92
13,003	432	0,982	9,003	284,0	278,888	2.210,176	-10,23
15,000	164	1,997	11,000	298,0	595,106	2.805,282	92,36
15,996	355	0,996	11,996	259,5	258,462	3.063,744	105,18
17,000	259	1,004	13,000	307,0	308,228	3.371,972	165,79
18,000	226	1,000	14,000	242,5	242,500	3.614,472	161,66
19,000	338	1,000	15,000	282,0	282,000	3.896,472	197,04
20,000	129	1,000	16,000	233,5	233,500	4.129,972	183,91
21,000	329	1,000	17,000	229,0	229,000	4.358,972	166,28
22,000	81	1,000	18,000	205,0	205,000	4.563,972	124,65
23,000	150	1,000	19,000	115,5	115,500	4.679,472	-6,48
24,000	159	1,000	20,000	154,5	154,500	4.833,972	-98,61
25,000	173	1,000	21,000	166,0	166,000	4.999,972	-179,24
26,000	127	1,000	22,000	150,0	150,000	5.149,972	-275,87
27,000	113	1,000	23,000	120,0	120,000	5.269,972	-402,50
28,000	227	1,000	24,000	170,0	170,000	5.439,972	-479,13
29,000	313	1,000	25,000	270,0	270,000	5.709,972	-455,76
30,001	320	1,001	26,001	316,5	316,816	6.026,789	-385,81
31,000	191	0,999	27,000	255,5	255,245	6.282,033	-376,95
32,000	177	1,000	28,000	184,0	184,000	6.466,033	-439,58
33,000	98	1,000	29,000	137,5	137,500	6.603,533	-548,71
34,998	337	1,998	30,998	217,5	434,565	7.038,098	-606,91
36,000	100	1,002	32,000	218,5	218,937	7.257,035	-635,10
37,000	429	1,000	33,000	264,5	264,500	7.521,535	-617,23
39,000	296	2,000	35,000	362,5	725,000	8.246,535	-385,48
40,000	486	1,000	36,000	391,0	391,000	8.637,535	-241,11
42,000	252	2,000	38,000	369,0	738,000	9.375,535	3,63
43,000	234	1,000	39,000	243,0	243,000	9.618,535	0,00

Para determinar los tramos homogéneos se puede construir el gráfico kilometraje vs. Z<sub>x</sub> o bien calcular el cambio de signo de la pendiente mediante métodos numéricos.

El gráfico obtenido es el siguiente:



Del gráfico es posible obtener los siguientes tramos homogéneos en Deflexión

Tramos Homogéneos	
De km	A km
4	6
6	8
8	12
12	19
19	28
28	31
31	36
36	43

### 3.2 Criterio estadístico para agrupar subtramos.

Dado que cada subtramo posee una media muestral y una desviación estándar propia, se pueden agrupar utilizando la Prueba de Hipótesis sobre la igualdad de las medias de dos distribuciones normales con varianza desconocida y no necesariamente iguales. Esta prueba se realiza sobre dos tramos consecutivos para evaluar la unión de ellos en uno solo.

Para ello se utiliza el estadístico:

$$T_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \dots\dots\dots(1)$$

donde:

- $\bar{X}_1$  Media del subtramo 1
- $\bar{X}_2$  Media del subtramo 2
- $S_1^2$  Varianza del subtramo 1
- $S_2^2$  Varianza del subtramo 2
- $n_1$  Número de observaciones del subtramo 1
- $n_2$  Número de observaciones del subtramo 1

Este estadístico tiene una distribución que es aproximadamente una distribución t de Student con grados de libertad dados por:

$$v = \frac{\left( \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\left( \frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 + 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 + 1} \right)} - 2 \dots\dots\dots(2)$$

Para determinar el valor crítico de t, contra el cual comparar el To calculado, es necesario seleccionar el nivel significación  $\alpha$  de la prueba. Luego, de la Tabla 8.502.7.B, se determina el valor crítico de t para el número efectivo de grados de libertad calculados según la ecuación 2.

Se debe definir una Hipótesis Nula  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  en que  $\mu_1$  y  $\mu_2$  son la medias teóricas (media de la población) del parámetro utilizado del subtramo 1 y subtramo 2 respectivamente.

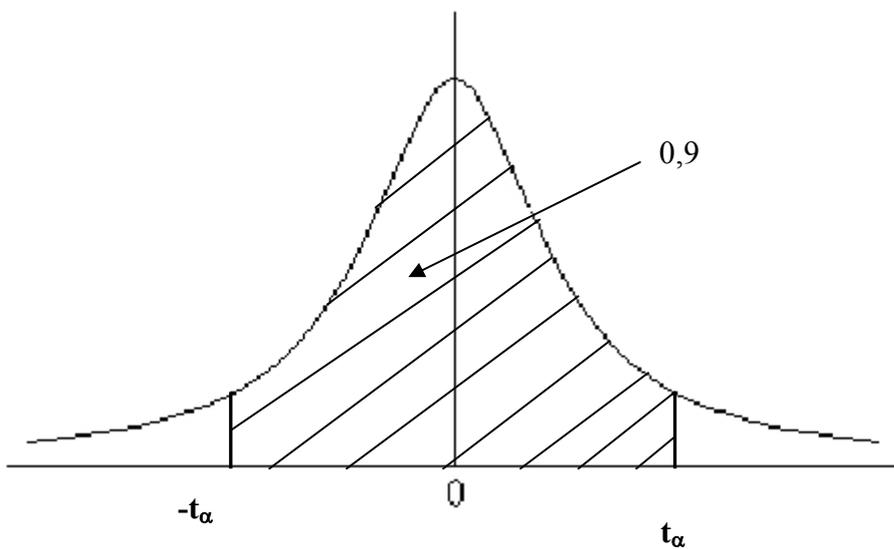
La hipótesis nula  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  se aceptará siempre que se verifique que el estadístico definido esté dentro de la región de aceptación cuyos valores críticos dependen del nivel de significancia adoptado  $\alpha$  ( $\alpha$  es la probabilidad de rechazar la hipótesis  $H_0$  siendo realmente verdadera). Se recomienda  $\alpha = 0,1$

Por lo tanto se rechaza  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  si  $T_o > t_{\alpha, v}$  ,o si  $T_o < -t_{\alpha, v}$

Mientras menor sea  $\alpha$  con mayor facilidad se acepta la hipótesis nula y por lo tanto se logran menos tramos

Con este criterio se agrupan aquellos subtramos que no muestren una diferencia significativa, dicho de otra forma, se agrupan aquellos subtramos que no presenten evidencia fuerte que indique la pertenencia a poblaciones diferentes.

El gráfico siguiente ilustra la distribución t para una confiabilidad del 90%



$1 - \alpha = 0,9$   
Probabilidad  $(-t_\alpha \leq T \leq t_\alpha) = 0,9$

**TABLA 8.502.7.B**  
**PRUEBA T: VALORES CRITICOS DE T PARA DISTINTOS NIVELES DE SIGNIFICACIÓN**

<b>Grados de</b>	<b><math>\alpha = 0,01</math></b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>	<b><math>\alpha = 0,10</math></b>
<b>1</b>	63.656	12.706	6.314
<b>2</b>	9.925	4.303	2.920
<b>3</b>	5.841	3.182	2.353
<b>4</b>	4.604	2.776	2.132
<b>5</b>	4.032	2.571	2.015
<b>6</b>	3.707	2.447	1.943
<b>7</b>	3.499	2.365	1.895
<b>8</b>	3.355	2.306	1.860
<b>9</b>	3.250	2.262	1.833
<b>10</b>	3.169	2.228	1.812
<b>11</b>	3.106	2.201	1.796
<b>12</b>	3.055	2.179	1.782
<b>13</b>	3.012	2.160	1.771
<b>14</b>	2.977	2.145	1.761
<b>15</b>	2.947	2.131	1.753
<b>16</b>	2.921	2.120	1.746
<b>17</b>	2.898	2.110	1.740
<b>18</b>	2.878	2.101	1.734
<b>19</b>	2.861	2.093	1.729
<b>20</b>	2.845	2.086	1.725
<b>21</b>	2.831	2.080	1.721
<b>22</b>	2.819	2.074	1.717
<b>23</b>	2.807	2.069	1.714
<b>24</b>	2.797	2.064	1.711
<b>25</b>	2.787	2.060	1.708
<b>26</b>	2.779	2.056	1.706
<b>27</b>	2.771	2.052	1.703
<b>28</b>	2.763	2.048	1.701
<b>29</b>	2.756	2.045	1.699
<b>30</b>	2.750	2.042	1.697
<b>40</b>	2.704	2.021	1.684
<b>60</b>	2.660	2.000	1.671
<b>120</b>	2.617	1.980	1.658
$\infty$	2.576	1.960	1.645

### 3.2.1 Ejemplo de Cálculo

Se dispone de las siguientes muestras de Deflexión de un camino.

Deflexión (µm)	
Muestra A	Muestra B
214	347
202	168
245	162
242	277
231	203
227	168
235	200
155	190
179	113
241	223
186	
159	
170	
200	
242	
146	
197	
160	
231	
208	
146	
164	
220	
187	
242	

En ellas se tiene:

	Muestra A	Muestra B
Promedio	201.2	205.1
Desviación. Estándar	33.94	65.81
S <sup>2</sup>	1152.22	4330.77
n	25	10

$$\text{Estadístico } T_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} = 0.178$$

$$\text{Grados de libertad } v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 + 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 + 1}\right)} - 2 = 11$$

Entrando en la Tabla 8.502.7.B con los grados de libertad y el nivel de significancia (recomendado 0.1), se tiene:

$$T \text{ crítico} = 1.796$$

Luego, como  $T_0 < T \text{ crítico}$ , se puede concluir que no existe razón para asumir que las muestras no sean iguales.



## **8.502.8 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE PERFILOMETRIA LONGITUDINAL**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** El Método describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial (irregularidades de la superficie) de pavimentos asfálticos, de hormigón, tratamientos superficiales y eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, expresada mediante el indicador IRI (International Roughness Index).

**2.- Referencias.** El procedimiento se basa en el documento Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, Publicación Técnica N° 46 del Banco Mundial, 1986.

### **3.- Terminología.**

**3.1 Rugosidad.** Alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Se mide con el indicador denominado Índice de Rugosidad Internacional, IRI (Ver Referencias), el que se expresa en m/km.

**3.2 Singularidad.** Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

**3.3 Sector Homogéneo.** Superficie de rodadura de estructuración uniforme a lo largo del camino.

**4.- Equipo.** Existen dos categorías de equipos para medir las irregularidades del perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, que se diferencian sólo por la velocidad con que miden (rendimiento) y no por la precisión con que lo hacen. Los más conocidos son los que se indican a continuación, sin perjuicio que puedan existir otros que cumplan con los requisitos exigidos a una u otra categoría. En todo caso, para los equipos que efectúen mediciones, estas deben corresponder a las clasificadas como clase I según el Banco Mundial.

#### **4.1 Equipos de Alto Rendimiento.**

- a) Perfilómetro Óptico
- b) Perfilómetro Láser

#### **4.2 Equipos de Bajo rendimiento (Portátiles)**

- a) Nivel y mira (topográficos).
- b) Perfilómetro transversal (viga).
- c) Perfilómetro portátil (con inclinómetro).

Podrán incluirse en estas categorías otros equipos que cumplan los requisitos exigidos.

Además existen equipos para medir la rugosidad de los pavimentos que no funcionan en base a la medición del perfil, entre los que se puede citar los equipos de tipo respuesta.

**5.- Calibración y Operación del Equipo.** En general, los procedimientos de calibración y operación de los equipos deberán ajustarse a las indicaciones de los respectivos fabricantes, no obstante lo cual, la Dirección de Vialidad, si lo estima necesario, podrá efectuar sus propias verificaciones.

**6.- Métodos de Control.** Para el autocontrol, el Contratista debe utilizar alguno de los sistemas perfilométricos mencionados, siempre que cumpla con que sus mediciones sean las denominadas clase I. Para el control de la rugosidad, se deberá procesar el programa computacional del Índice de Rugosidad

Internacional, IRI (véase Punto 2. Referencias). Las mediciones se realizarán longitudinalmente por cada pista, en forma separada, mediante un sistema perfilométrico de precisión. Se registrará la variación del perfil al milímetro, a razón de no menos de cuatro puntos por metro, es decir, con un distanciamiento no superior a 250 mm.

La medición se efectuará en forma continua, comenzando desde el inicio del tramo o Contrato a controlar, hasta el término de él y/o viceversa, según sea el caso.

**7.- Procedimiento de Evaluación.** La evaluación de la rugosidad (IRI) como control receptivo de un tramo de camino o de un Contrato, deberá ajustarse al siguiente procedimiento:

**7.1 Forma de Procesar.** Procesar, según el sentido del tránsito, cada pista separadamente, en tramos de 200 m o fracción, en caso de que un tramo determinado al inicio o al término de un sector homogéneo no alcance los 200 m.

El kilómetro inicial debe ajustarse al primer múltiplo de 200 m, según el balizado del contrato. Si la longitud del tramo es inferior a 100 m, no se considerará en la evaluación; si es igual o superior, se considera como tramo independiente. Ello también es válido en los sectores finales del tramo o contrato.

Los informes con valores de IRI se entregarán referidos al kilometraje o balizado del contrato.

El IRI se registra en m/km, aproximando a un decimal.

**7.2 Singularidades.** Se determinará si hay singularidades y se identificarán. Las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo de 200 m en la pista en que se encuentran ubicadas, el que no se considerará en las evaluaciones. Las singularidades que se emplacen en dos tramos vecinos, ubicadas al final de un tramo y al comienzo del siguiente (ambas en la misma pista), afectarán los dos tramos de 200 m, los que no se considerarán en las evaluaciones. Las singularidades que tengan longitudes de más de 200 m afectarán los tramos que las contengan, su longitud será múltiplo de 200 m y no se considerarán en las evaluaciones.

Además de las evidentes, se podrá considerar que hay una singularidad en cualquier sector del camino cuyo IRI se incremente en 0,5 m/km o más, debido solamente al diseño geométrico, es decir, ejecutando el programa del IRI en el perfil teórico. Para definir si una curva debe ser considerada como una singularidad, deberá disponerse del perfil teórico de cada huella (o de la huella más desfavorable) de la pista en el sector que se desea estudiar, expresado como una serie de puntos definidos por distancias y cotas. La separación entre puntos no debe superar los 25 cm y las cotas deben tomarse con una precisión de 0,2 mm para efectos de procesamiento. Para definir la ubicación de la huella interna y externa dentro de la pista, se considera que éstas se encuentran a 70 cm del eje y a 70 cm de la berma, respectivamente; es decir, en una pista de 3,5 m de ancho, la separación entre huellas es de 2,1 m.

**7.3 Cálculo del IRI en los Sectores Homogéneos.** En los sectores homogéneos se evaluará el IRI por medias fijas, tomando los valores de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que el pavimento tiene una rugosidad aceptable si todas las medias aritméticas fijas de 5 valores consecutivos de IRI son iguales o inferiores al valor indicado en las Especificaciones Técnicas del Contrato y ninguno de los valores individuales supera los límites establecidos en dichas Especificaciones.

En caso de incumplimiento, se procederá de acuerdo con lo estipulado en las Especificaciones Técnicas Especiales del Contrato o en su defecto, con lo indicado en las especificaciones generales del MC-V5.

Si no es posible disponer de 5 valores consecutivos para formar una media fija, se determinará el promedio aritmético de los valores con que se cuente, hasta un mínimo de dos. Se aceptará la rugosidad si el promedio resulta igual o inferior al valor indicado en las especificaciones del Contrato para media fija y ninguno de los valores individuales supera los límites estipulados. El procedimiento es válido sólo cuando existan al menos dos valores para determinar el promedio; si no es así y sólo se dispone de un valor, éste no tendrá más exigencia que la de un valor individual.

**7.4 Informe.** El informe correspondiente deberá contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del Contrato
- b) Región
- c) Rol y Código del camino
- d) Número y fecha de la resolución que adjudicó el Contrato
- e) Empresa Contratista
- f) Tipo de Pavimento
- g) Sector controlado
- h) N° de la pista controlada
- i) Fecha de medición

En la Lámina.8.502.8.A se incluye un formulario tipo, que define la forma en que debe presentarse el Informe. Para llenarlo, se debe proceder como sigue:

- En las primeras dos columnas se debe anotar el kilometraje inicial y el final del tramo medido.
- En la tercera se debe registrar el valor de IRI [m/km].
- En la cuarta columna, encabezada por la palabra Topónimo, se identificará cualquier singularidad que exista en el camino, como por ejemplo, un puente, un paso superior o un cambio del tipo o características del pavimento, que sirva de antecedente o referencia a quien evalúe la información.

**8.- Cálculo de Multas.** En el cálculo de las medias fijas se procesarán todos los tramos de los sectores homogéneos, incluyendo aquellos que no cumplan por muestra individual, a menos que dichos tramos se reparen o se rehagan.

Para calcular las multas, se utiliza el formulario de 9 columnas que se incluye en la Lámina 8.502.8.B. En la primera columna debe indicarse el N° del tramo, en la segunda, el kilometraje de inicio del tramo, en la tercera, el kilometraje de término, en la cuarta, la longitud del tramo en metros, en la quinta, el IRI individual, en la sexta, los cálculos de las medias fijas de cinco valores, en la séptima, las multas por valores individuales, si correspondieren, en la octava, las multas correspondientes a las medias fijas, y finalmente, en la novena, las multas finales en cada tramo de 200 m, si correspondiere.

La multa que afecta a una media fija se aplicará al tramo completo que la determina, es decir, el porcentaje de multa será el mismo para los cinco o menos tramos involucrados.

La multa se determina tramo a tramo. En el caso que un tramo tenga multa por valor individual y además le corresponda una multa por media fija, se considerará el mayor valor, que no debe exceder de 100%.

**9.- Ejemplo de Cálculo.** A modo ilustrativo, en la Lámina 8.502.8.B se muestra un ejemplo de cálculo de multas por incumplimiento de IRI, aplicable tanto a pavimentos de asfalto como de hormigón. Se considera que las especificaciones de la obra prescriben lo siguiente:

- IRI individual:  $\leq 2,8$  (m/km).
- IRI Media Fija:  $\leq 2,0$  (m/km)

Los % de multas a aplicar por incumplimiento del valor promedio de cinco muestras consecutivas (IRI Media Fija) se indican en la Tabla 5.408.304.I.

Nombre del Contrato: \_\_\_\_\_

Región: \_\_\_\_\_

Rol y Código del Camino: \_\_\_\_\_

Nº y fecha de la Resolución que adjudicó el Contrato: \_\_\_\_\_

Empresa Contratista: \_\_\_\_\_

Tipo de Pavimento: \_\_\_\_\_

Sector Controlado: \_\_\_\_\_

Nº de la Pista Controlada: \_\_\_\_\_

Fecha de Medición: \_\_\_\_\_

TRAMO		IRI (m/km)	TOPÓNIMO
Dm. de inicio	Dm. de término		

OBSERVACIONES :

Nota : Proceso de medición realizado cada 200 m y/o fracción

Entidad a cargo del control:

Profesional responsable del control:

\_\_\_\_\_

FIRMA

Ejemplo N°1

Tramo N°	Dm Inicio	Dm Término	Longitud Tramo (m)	IRI Individual (m/km)	IRI Medias Fijas (m/km)	Multa Individual (%)	IRI (m/km) Multa media Fijas (%)	Multa Final por Tramos (%)
1	1,6850	1,8000	115	2,5		0	0	0
2	1,8000	2,0000	200	2,0		0	0	0
3	2,0000	2,2000	200	1,8		0	0	0
4	2,2000	2,4000	200	1,7		0	0	0
5	2,4000	2,6000	200	1,6	1,9	0	0	0
6	2,6000	2,8000	200	2,9		100	75	100
7	2,8000	3,0000	200	2,9		100	75	100
8	3,0000	3,2000	200	2,0		0	75	75
9	3,2000	3,4000	200	2,8		0	75	75
10	3,4000	3,6000	200	2,5	2,6	0	75	75
11	3,6000	3,8000	200	2,0		0	0	0
12	3,8000	4,0000	200	1,6		0	0	0
13	4,0000	4,2000	200	1,7		0	0	0
14	4,2000	4,3800	180	1,8	1,8	0	0	0

Ejemplo N°2: Ejemplo con un tramo de inicio mayor o igual a 100 metros, en que su valor de IRI se considera en la evaluación y con un tramo de término mayor o igual a 100 metros, en que su valor de IRI se considera también en la evaluación.

Tramo N°	Dm Inicio	Dm Término	Longitud Tramo (m)	IRI Individual (m/km)	IRI Medias Fijas (m/km)	Multa Individual (%)	IRI (m/km) Multa media Fijas (%)	Multa Final por Tramos (%)
1	0,050	0,200	150	1,6		0	0	0
2	0,200	0,400	200	1,8		0	0	0
3	0,400	0,600	200	2,0		0	0	0
4	0,600	0,800	200	1,3		0	0	0
5	0,800	1,000	200	1,5	1,6	0	0	0
6	1,000	1,200	200	1,8		0	25	25
7	1,200	1,400	200	2,1		0	25	25
8	1,400	1,600	200	2,0		0	25	25
9	1,600	1,800	200	2,5		0	25	25
10	1,800	2,000	200	2,2	2,1	0	25	25
11	2,000	2,200	200	1,8		0	50	50
12	2,200	2,400	200	Singularidad				
13	2,400	2,600	200	3,0		100	50	100
14	2,600	2,800	200	2,0		0	50	50
15	2,800	3,000	200	2,4		0	50	50
16	3,000	3,200	200	2,3	2,3	0	50	50
17	3,200	3,400	200	2,2		0	25	25
18	3,400	3,600	200	2,7		0	25	25
19	3,600	3,800	200	2,2		0	25	25
20	3,800	4,000	200	2,0		0	25	25
21	4,000	4,100	100	2,1	2,2	0	25	25

Ejemplo N°3: Ejemplo con un tramo de inicio menor a 100 metros, en que su valor de IRI no se considera en la evaluación y con un tramo de término menor a 100 metros, en que su valor de IRI tampoco se considera en la evaluación.

Tramo N°	Dm Inicio	Dm Término	Longitud Tramo (m)	IRI Individual (m/km)	IRI Medias Fijas (m/km)	Multa Individual (%)	IRI (m/km) Multa media Fijas (%)	Multa Final por Tramos (%)
1	0,150	0,200	50	-		0	0	0
2	0,200	0,400	200	1,8		0	0	0
3	0,400	0,600	200	2,0		0	0	0
4	0,600	0,800	200	1,3		0	0	0
5	0,800	1,000	200	1,5		0	0	0
6	1,000	1,200	200	1,8	1,7	0	25	25
7	1,200	1,400	200	2,1		0	25	25
8	1,400	1,600	200	2,0		0	25	25
9	1,600	1,800	200	2,5		0	25	25
10	1,800	2,000	200	2,2		0	25	25
11	2,000	2,200	200	1,8	2,1	0	50	50
12	2,200	2,400	200	Singularidad				
13	2,400	2,600	200	3,0		100	50	100
14	2,600	2,800	200	2,0		0	50	50
15	2,800	3,000	200	2,4		0	50	50
16	3,000	3,200	200	2,3		0	50	50
17	3,200	3,400	200	2,2	2,4	0	25	25
18	3,400	3,600	200	2,7		0	25	25
19	3,600	3,800	200	2,2		0	25	25
20	3,800	4,000	200	2,0	2,3	0	25	25
21	4,000	4,090	90	-		0	25	25



## 8.502.9 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE CAPAS ASFALTICAS\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método define los procedimientos para determinar in situ la densidad de capas asfálticas por medio de radiación Gamma, usando geometría de retrodispersión o en transmisión directa. Determina la densidad relativa de las capas asfálticas, también puede utilizarse para establecer la densidad óptima para una energía de rodillado determinada y para verificar el cumplimiento de densidad en las capas asfálticas.

Los resultados que arroja este método son relativos, por lo tanto, si se requieren densidades reales, debe establecerse un factor para convertir la densidad nuclear a densidad real; ello mediante mediciones con densímetro nuclear comparadas con densidades de testigos extraídos de la misma ubicación, seleccionada al azar. Se recomienda usar el promedio de densidad de por lo menos siete testigos, de acuerdo con el Método 8.302.38 y las correspondientes mediciones nucleares, para determinar el factor de corrección; el factor debe verificarse a intervalos durante el desarrollo de una faena y calcular uno nuevo cuando se produzca una modificación en la mezcla de trabajo, un cambio en la fuente de agregados o una variación de materiales de la misma procedencia, un cambio de medidor por otro o si hay razón para suponer que el factor es incorrecto.

**Nota 1:** La exactitud de los procedimientos de ensaye nuclear no es constante y se ve afectada por el tipo y textura superficial de la capa asfáltica a medir. El modo de ensaye nuclear a usar y el número de ensayos necesarios para determinar un factor satisfactorio depende de la exactitud requerida.

Debe tenerse presente que las lecturas de densidad en capas asfálticas delgadas pueden ser erróneas, si la densidad del material subyacente difiere significativamente de la capa superficial; para algunos medidores existen procedimientos de corrección, cuando se dan estas situaciones.

\*El Método 8.502.9 es una adaptación de la norma ASTM D 2950 – 82.

**2.- Referencias.** Método 8.302.38, Asfaltos: método para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

**3.- Equipos.** El sistema consistirá en los elementos que se indican a continuación aún cuando el detalle exacto de la construcción de los aparatos puede variar.

**3.1 Fuente Gamma.** Está formada por un radioisótopo doblemente encapsulado y sellado, tal como Cesio 137, Cobalto 60 ó Radio 226.

**3.2 Detector.** Puede ser de cualquier tipo de detector Gamma, como un tubo Geiger - Müller, cristal de centelleo o contador proporcional.

**3.3 Instrumento de Lectura.** Puede ser un escalador, un medidor de variación de cuentas o una escala de lectura directa.

**3.4 Referencia Patrón.** Debe ser provista por el fabricante con el propósito de verificar el funcionamiento del equipo y considerar efectos ambientales.

**3.5 Seguridad.** El equipo deberá ser compatible con las normas vigentes de salud y seguridad.

**3.6 Espaciadores.** Dispositivos destinados a sostener el equipo en la separación óptima del colchón de aire.

**4.- Normalización del Equipo.** Es necesario normalizar el equipo sobre una referencia patrón por lo menos una vez por día, para lo cual proceda como sigue:

- 4.1 Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- 4.2 Inicialmente establezca  $N_0$  tomando el promedio de 20 lecturas sobre la referencia patrón.
- 4.3 Tome a lo menos cinco lecturas sobre la referencia patrón o más, si lo recomienda el fabricante o tome la cuenta de una lectura de 4 min que entrega directamente el medidor con almacenamiento automático de conteo normal.
- 4.4 Si más de una lectura queda fuera del rango que establece la ecuación que se incluye más abajo, repita la normalización.

Si el segundo chequeo de normalización no satisface la referida ecuación, verifique el funcionamiento del sistema; si no detecta un funcionamiento anormal, establezca un nuevo  $N_0$ .

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \sqrt{N_0}$$

donde:

$N_s$  : Valor de chequeo sobre el patrón de referencia.

$N_0$  : Promedio establecido previamente del valor de conteos, para el tiempo normal.

La cuenta de una lectura de 4 min de un medidor de lectura debe estar dentro del 1% del promedio de las cuentas previas.

## 5.- Elección y Preparación del Sitio de Ensaye.

- 5.1 Seleccione aleatoriamente el sitio de medición.
- 5.2 Dado que el valor de la densidad medida por retrodispersión se ve afectada por la lectura superficial del material inmediatamente bajo el medidor, son mejores los resultados sobre superficies rodilladas lisas; se recomienda un relleno de arena fina o material similar para llenar los huecos abiertos de la superficie.
- 5.3 Si utiliza el método de transmisión directa, haga un agujero limpio en el pavimento, un poco más grande que la sonda.

## 6.- Procedimiento A, Retrodispersión y Transmisión Directa.

- 6.1 Asiente el medidor firmemente y alejado más de 300 mm del borde del pavimento y de otro objeto. Si se usa el método de transmisión directa, inserte la sonda de modo que el lado que se orienta al centro del medidor quede en íntimo contacto con la pared del agujero. Mantenga toda otra fuente radiactiva a lo menos 15 m lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones.
- 6.2 Emplee el mismo tiempo de estabilización usado en la normalización; tome lecturas de duración automáticas y determine la densidad usando la curva de calibración suministrada o desde el visor de lectura directa.

## 7.- Procedimiento B, Colchón de Aire (Optativo).

- 7.1 Tome una lectura de duración automática superficial o profunda en una ubicación elegida al azar.
- 7.2 Usando un soporte o espaciadores (provistos por el fabricante) para sostener el medidor al óptimo intervalo de aire, tome una lectura, inmediatamente encima y en la misma orientación que la medición anterior superficial o profunda.
- 7.3 Repita las mediciones superficiales o profundas y la de colchón de aire en las ubicaciones adicionales requeridas, elegidas al azar.
- 7.4 Determine el promedio de las lecturas sobre la superficie o profundas y las de colchón de aire.

**7.5** Determine el promedio de la razón colchón de aire como lo recomienda el fabricante.

**7.6** Determine la densidad a partir del promedio de la razón colchón de aire usando la curva de calibración correspondiente.

**8.- Informe.** En el informe incluya lo siguiente:

- a) Temperatura ambiente.
- b) Espesor de la capa medida.
- c) Profundidad de la sonda, si se usa transmisión directa.
- d) Identificación de los materiales empleados.
- e) Tipo de mezcla y textura superficial.
- f) Número de pasadas y tipo de rodillos utilizados.
- g) Valor de cuentas de normalización.
- h) Valor de cuentas leído para cada ensaye y el valor medio de densidad correspondiente o el valor de densidad leído directamente en  $\text{kg/m}^3$ .

**9.- Precisión.**

**9.1** No resulta práctico determinar la precisión del método de ensaye considerando operadores de diversos laboratorios, debido a que el ensaye se ejecuta sobre materiales colocados en terreno. La determinación de precisión del medidor y los límites aceptables se dan en 9.2.

**9.2** Determine la precisión del instrumento a partir de la gradiente de la curva de calibración del fabricante y la desviación normal estadística de los valores de conteos como sigue:

$$P = \frac{S}{m}$$

donde:

- P : Precisión, ( $\text{kg/m}^3$ ).
- S : Desviación normal, cuentas por minuto (cpm).
- m : Gradiente, ( $\text{cpm/kg/m}^3$ ).

**9.3** Determine la gradiente de la curva de calibración para  $2.240 \text{ kg/m}^3$  y calcule la desviación normal de 20 lecturas individuales de duración automática, tomados sobre un material con densidad de  $2.240 \pm 80 \text{ kg/m}^3$ . El valor de P será menor que  $16 \text{ kg/m}^3$  para medidas en retrodispersión y  $8 \text{ kg/m}^3$  para transmisión directa. Determine la precisión del instrumento sólo cuando se desarrolla o se verifica la curva de calibración y sólo por personal con conocimientos en esta técnica.

**9.4** Para un medidor de lectura directa, la precisión P es la desviación normal de 20 lecturas individuales de duración automática.



## 8.502.10 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO NUCLEAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MEZCLA\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método permite determinar cuantitativamente el contenido de asfalto de mezclas bituminosas, examinando una muestra mediante neutrones. En atención a que se tienen resultados en pocos minutos, puede usarse para determinar rápidamente el contenido de asfalto de mezclas bituminosas para pavimento, lo que permite ejecutar los ajustes apropiados que sean necesarios en el sistema de alimentación de asfalto de la planta. El procedimiento es útil en la determinación del contenido de asfalto solamente, ya que no permite extraer el asfalto para un análisis de graduación del agregado.

A menos que la muestra para el ensaye esté completamente seca, determine el porcentaje de humedad como se indica en 6.3 y luego haga la correspondiente corrección para compensar por la humedad.

\*El Método 8.502.10 es una adaptación de la norma ASTM D 4125 – 83.

### 2.- Referencias.

- Método 8.202.1 Agregados Pétreos: método para extraer y preparar muestras.
- Método 8.302.27 Asfaltos: método de muestreo de mezclas.
- Método 8.302.39 Asfaltos: método para determinar la humedad o volátiles en mezclas asfálticas.

### 3.- Equipos.

**3.1 Componentes del Equipo.** Aún cuando diferentes equipos pueden presentar diferencias en detalles constructivos, el sistema consiste básicamente de lo siguiente:

- a) Fuente de Neutrones. Fuente radiactiva en cápsula y sellada, como la de ameriucium - berilio.
- b) Detectores. Cualquier tipo de detector de neutrones térmico, tales como el Helio - 3 o el trifluoruro de boro.
- c) Instrumento de Lectura de Salida. Puede ser un medidor o un instrumento de lectura digital directa, calibrado en porcentaje de asfalto.
- d) Referencia Patrón. Debe ser provisto por el fabricante con el propósito de chequear la operación del instrumento, conteo de efectos ambientales y establecer condiciones para que las razones de conteos sean reproducibles.

### 3.2 Precisión del Equipo.

- a) La precisión del equipo con un contenido de asfalto del 6% en peso no será mayor de  $\pm 0,075\%$  de asfalto para una medición de 12 min y no mayor de  $\pm 0,15\%$  de asfalto para una medición de 3 min.
- b) La precisión del equipo se determina a partir de la gradiente del gráfico de la curva de calibración y de la desviación normal de la razón de conteo. La precisión se calcula como sigue:

$$P = \frac{S}{m}$$

donde:

- P : Precisión del equipo, en porcentaje de asfalto.
- S : Desviación normal en cuentas por períodos de tiempo automatizados
- M : Pendiente en cuentas por porcentaje de asfalto.

La desviación normal se calcula de 20 lecturas individuales de tiempo automatizado tomadas al contenido de asfalto de la mezcla que está siendo ensayada con  $\pm 0,5\%$  de diferencia de la mezcla de diseño.

- c) El rango de la mezcla de control debe estar entre 2 y 14% de asfalto en peso.

### 3.3 Otros Aparatos.

- a) Balanza, capaz de pesar hasta 10 kg, con lecturas de 1 g.
- b) Horno, capaz de calentar a  $180 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- c) Regla de acero, de aproximadamente 450 mm de largo.
- d) Placa de madera, de 20 mm o más gruesa, o plancha metálica de 10 mm o más gruesa que tenga un área ligeramente mayor que los recipientes para muestras.
- e) Cucharas y bolos para mezclado.

### 4.- Precauciones.

**4.1 Seguridad.** El equipo deberá estar construido de modo que sea compatible con las ordenanzas sobre salud y seguridad.

**4.2 Operadores.** Los operadores del equipo deben portar un Dosímetro de Radiación suministrado por un organismo oficial, capaz de acusar la exposición a la radiación durante el trabajo.

**4.3 Contenido de Hidrógeno.** La señal de salida del equipo mide la cantidad total de hidrógeno de la mezcla, es por lo tanto sensible a los cambios en el contenido de humedad. Debe recordarse que tanto el asfalto como el agua contienen hidrógeno.

**4.4 Posición del Equipo.** Mantenga cualquier otra fuente de radiación por lo menos a 8 m del equipo. No lo coloque donde puedan moverse grandes cantidades de material hidrogenado durante la calibración o el procedimiento de ensaye (por ejemplo, agua o materiales plásticos).

### 5.- Muestreo.

**5.1 Ubicación de las Muestras.** Obtenga las muestras en forma aleatoria de acuerdo al Método 8.202.1 Agregados pétreos: método para extraer y preparar muestras.

**5.2 Toma de las Muestras.** Tome las diversas muestras de mezcla bituminosa para pavimento recién preparada, de acuerdo con el Método 8.302.27 Asfaltos: método de muestreo de mezclas.

### 6.- Preparación de la Muestra a Ensayar.

**6.1 Tamaño de la Muestra.** La muestra a ensayar debe ser por lo menos de 6 kg para cada ensaye.

**6.2 Manipulación.** Coloque la muestra en el recipiente para muestras con el mismo método usado para la preparación de las muestras de calibración.

**6.3 Contenido de Humedad.** Verifique el contenido de humedad de la muestra de acuerdo a lo señalado en el Método 8.302.39 Asfaltos: método para determinar la humedad o volátiles en mezclas asfálticas. Si presenta humedad, el porcentaje detectado debe restarse del porcentaje aparente del asfalto, indicado por el Método Nuclear. Alternativamente, la muestra puede secarse hasta masa constante en un horno a  $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ , lo que elimina la necesidad de la corrección por humedad.

### 7.- Curva de Calibración.

**7.1** El método es sensible al tipo de agregado, porcentaje y origen del asfalto y a la graduación de la mezcla. De acuerdo con ello, desarrolle una curva de calibración para cada tipo de mezcla, con tres puntos, uno de los cuales corresponda al cero de contenido de asfalto. Este punto cero es fácil de medir con muestras de agregados de los silos en caliente (Nota 1), aunque también pueden tomarse muestras del acopio, secadas hasta masa constante.

Cada vez que haya un cambio de la procedencia del asfalto o del agregado o un cambio significativo en la graduación del agregado, trace una nueva curva de calibración. El punto cero debe chequearse por lo

menos una vez al día o cuando haya razón para sospechar que se ha producido una variación del contenido de humedad del agregado.

**Nota 1:** Este método puede no ser aplicable a plantas secadoras de tambor, debido a la dificultad de obtener muestras de agregados calentados.

El procedimiento que se recomienda para trazar la curva de calibración es el que sigue:

- a) Muestree los silos en caliente de la planta de acuerdo con 5 y mezcle los agregados en la proporción correcta (Nota 1). Debe obtenerse agregado suficiente para 3 muestras; aproximadamente se requieren 20 kg en total.
- b) Llene el molde hasta colmarlo con el agregado seco. Colóquelo sobre una superficie plana y golpéelo varias veces en ella para asegurarse que la muestra se compacte. Usando la regla, elimine con cuidado el material en exceso, enrase el nivel superior de los bordes del molde. Pese y anote el peso del agregado seco.
- c) Ensaye la mezcla caliente de agregado para establecer el cero por ciento de contenido de asfalto como se describe en 8.3. Este punto cero de asfalto sirve para determinar cambios en el contenido de humedad diariamente.
- d) Mezcle 2 muestras de agregado con asfalto, extraídas del depósito de la planta, que tengan aproximadamente el contenido de asfalto de diseño más 1% la primera y -1% la segunda.
- e) Utilice el mismo peso de mezcla usado para la muestra de calibración del agregado seco. Divídalas aproximadamente en dos porciones iguales. Coloque la primera porción en el molde usando una paleta o espátula. Consolide 20 a 30 veces alrededor del perímetro del molde para minimizar los huecos entre la mezcla y los bordes del molde. Coloque la segunda porción en el molde y repita el proceso de consolidación. Saque la mezcla de asfalto que quedó sobre el borde del molde usando una regla o una paleta. Use la plancha metálica o placa de madera para compactar la mezcla asfáltica hasta que quede nivelada con la parte superior del borde del molde.
- f) Alternativamente, coloque los moldes conteniendo la mezcla asfáltica en el instrumento y determine el conteo para las muestras, usando el procedimiento descrito en c) para el agregado seco.
- g) Defina una curva de calibración trazando las dos lecturas de la muestra de asfalto versus contenido de asfalto en un papel cuadriculado, eligiendo convenientemente las escalas para los conteos y el contenido de asfalto; una los dos puntos con una línea. La línea puede prolongarse para cubrir un amplio rango de contenidos de asfalto.
- h) Repita el procedimiento de calibración para cada mezcla que se espera hacer ese día.
- i) El procedimiento requiere aproximadamente de una hora para desarrollar un amplio conjunto de curvas de calibración. Los ensayos de control de rutina pueden comenzar tan pronto como se hayan establecido las curvas de calibración.

## 8.- Normalización.

**8.1 Objetivos.** Todos los dispositivos para Ensaye Nuclear están sujetos a un envejecimiento a largo plazo de la fuente radiactiva, detectores y otros sistemas electrónicos, los cuales pueden cambiar la relación entre la cuenta y el contenido de asfalto. Para compensar este envejecimiento, todos los instrumentos están calibrados como una razón de conteo y un conteo hecho con un Patrón de Referencia. El Conteo de Referencia debe tener el mismo orden de magnitud o más alto que el rango de las medidas de razones de conteos sobre el contenido usual de asfalto del equipo.

**8.2 Frecuencia de la Normalización.** La normalización del equipo contra un patrón de referencia debe hacerse al principio de cada día, anotando permanentemente los datos obtenidos y archivando esos antecedentes.

**8.3 Estabilización del Equipo.** Encienda el equipo y permita que se estabilice de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

**8.4 Número de Lecturas.** Tome por lo menos 4 lecturas repetitivas en la referencia patrón con tiempo normal de medida y obtenga la media. Si se puede hacer en el instrumento una medida con un período de 4

veces el período normal, es aceptable en lugar de las 4 medidas individuales. Esto constituye un chequeo de normalización.

**Nota 2.:** Algunos fabricantes pueden construir patrones de referencia en el interior de sus equipos. Cuando use esos equipos siga las instrucciones del fabricante para la normalización.

**8.5 Valores Admisibles.** Si el valor obtenido está dentro de los límites definidos por la ecuación que se incluye más abajo, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias y puede ser usado. Si el valor queda fuera del rango definido por esa ecuación, haga otro chequeo de normalización. Si este segundo chequeo de normalización resulta dentro de los límites, el equipo puede usarse; si también falla, el equipo debería chequearse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

$$N_s = N_o \pm 1,96 \sqrt{N_o / PC}$$

donde:

- $N_s$  : Valor de chequeo sobre el patrón de referencia
- $N_o$  : Promedio de los últimos 4 valores de  $N_s$  tomados previo al uso.
- PC : Factor de escala aplicado a los conteos del detector previo a su presentación en la pantalla; debe ser proporcionado por el fabricante. Si no hay factor de escala construida en el interior del equipo, el valor es 1.

**8.6 Uso del Valor  $N_s$ .** Use el valor de  $N_s$  para determinar la razón de conteos para el uso diario del equipo. Si por alguna razón las mediciones del contenido de asfalto se hacen sospechosas durante el uso diario, haga otro chequeo de normalización.

**Nota 3:** Si el instrumento se va a usar continua o intermitentemente durante el día, es mejor dejarlo en la posición "encendido" durante el día, para evitar tener que repetir el chequeo de normalización. Esto proporcionará resultados más estables y consistentes.

**9.- Procedimiento.** Siga las instrucciones del fabricante para la operación del equipo y la secuencia de las operaciones.

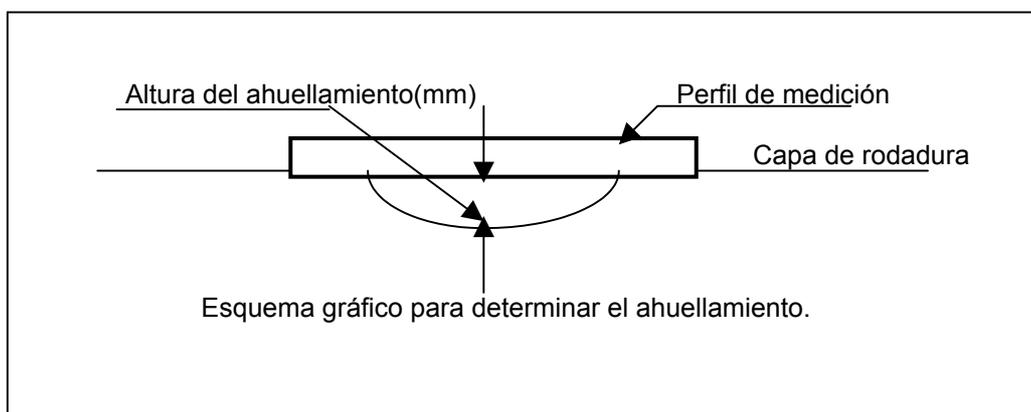
**10.- Informe.** Incluya en el informe lo siguiente:

- a) Marca, modelo y número de serie del equipo.
- b) Identificación del asfalto y los agregados.
- c) Tipo de mezcla y contenido de asfalto especificado.
- d) Contenido de asfalto obtenido.

### 8.502.11 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO.

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** El ahuellamiento es un fenómeno que afecta a los pavimentos asfálticos que se manifiesta como una depresión longitudinal en la sección transversal y que de preferencia, se localiza en las zonas del pavimento por donde circula la mayor parte del tránsito (huellas).

Geoméricamente se define como la máxima depresión por huella en el sentido transversal al camino, tal como se ilustra en la siguiente figura.



2.- **Equipo.** Existen diversos equipos para determinar el ahuellamiento; dependiendo de sus características se suelen clasificar como equipos de alto y bajo rendimiento.

2.1 **Equipos de Alto Rendimiento.** Los principales equipos de alto rendimientos son el Perfilómetro Láser y el Perfilómetro Óptico.

**Nota 1:** Los equipos de alto rendimiento se encuentran en etapa de evaluación y validación por el Laboratorio Nacional de Vialidad.

2.2 **Equipos de Bajo Rendimiento.** Los equipos de bajo rendimiento más característicos son el Perfilógrafo Transversal, la toma de perfiles por métodos manuales con reglas graduadas y los Perfilómetros portátiles.

3.- **Calibración y Operación del Equipo.** Los procedimientos de calibración y operación de los equipos dependen de las indicaciones de los respectivos fabricantes.

4.- **Procedimiento.** Para fines de Autocontrol, el Contratista deberá utilizar alguno de los sistemas mencionados en 2; alternativamente podrá emplear otro tipo de equipo, siempre que esté debidamente calibrado.

Para fines de recepción de obras y en tanto no se defina la situación de los equipos de alto rendimiento (ver Nota 1) debe determinar el ahuellamiento mediante perfilógrafos transversales, perfiles y reglas graduadas o perfilómetros portátiles.

Los procedimientos a seguir al utilizar unos u otros de estos equipos son los que se indican a continuación.

4.1 **Perfiles y Reglas Graduadas.** Un perfil metálico indeformable, de sección rectangular (ancho mínimo 20 mm y altura mínima 30 mm), de al menos 1,5 m de largo, se coloca en forma transversal y en 90° respecto al eje de la pista, desde uno de los bordes hacia el centro (ver figura). Luego se desliza una escuadra, regla o cuña metálica debidamente graduada al milímetro por debajo de este

perfil, determinando y registrando la profundidad máxima que alcanza la depresión (ahuellamiento). El procedimiento se debe realizar en las dos huellas de una pista.

**Nota 2:** La regla, escuadra o cuña deberá permitir medir ahuellamientos en el rango de 1 a 20 mm.

**4.2 Perfilógrafo Transversal.** Consiste en extender el perfilógrafo sobre la calzada formando un ángulo de 90° respecto al eje de la pista; se obtiene gráficamente, un perfil o sección transversal de la pista el que sirve para determinar la deformación máxima por huella, valor que corresponde al ahuellamiento.

**4.3 Perfilómetro Portátil.** Es un instrumento operado manualmente, capaz de medir el perfil o sección transversal de una pista mediante un sistema de inclinómetro - odómetro, extensómetro - odómetro u otro mecanismo similar. Para fines receptivos se debe generar un registro de al menos 10 puntos por pista, en base al cual se determina el ahuellamiento máximo en la pista auscultada.

**5.- Procedimiento de Evaluación.** Cualquiera fuere el método utilizado para determinar el ahuellamiento con fines receptivos, efectúe una medida al menos cada 200 metros lineales, por cada huella y por pista; registre como el ahuellamiento representativo el mayor valor medido para las dos huellas. Las medidas se deben informar con la precisión al mm.

No mida el ahuellamiento en singularidades, tales como puentes, badenes, tapas de alcantarilla u otras, las que alteran localmente el perfil transversal de la pista.

**6.- Informe.** El encabezado del informe correspondiente debe contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del contrato.
- b) Región.
- c) Número y fecha de la Resolución que adjudicó el contrato.
- d) Nombre de la empresa contratista.
- e) Identificación del tramo o sector en que se hicieron las mediciones.
- g) Número de la pista.
- h) Fecha de la medición.

En la Lámina 8.502.11.A se presenta un formulario tipo que define la forma en que debe presentarse el Informe. Para llenarlo se debe proceder como sigue:

- a) En la primera columna anote el kilometraje en que se realizó la medición.
- b) En la segunda y tercera columnas registre los ahuellamientos medidos, expresados en mm, correspondientes a las huellas externas e internas, respectivamente.
- c) En la cuarta columna, registre el ahuellamiento máximo medido (mm) y que corresponde al mayor de los valores anotados en las dos columnas anteriores
- d) En la quinta columna, encabezada por la palabra "topónimo" identifique la singularidad detectada, la que servirá de antecedente o referencia a quien evalúe la información.





## **8.502.12 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL ESCALONAMIENTO.**

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Se define como escalonamiento a la diferencia de altura o distancia vertical, existente entre los bordes de una junta de contracción o los bordes de una grieta de un pavimento de hormigón. Este desnivel afecta significativamente el nivel de serviciabilidad del pavimento y la comodidad de los usuarios.

Las principales causas que explican la generación y desarrollo del escalonamiento se encuentran en los mecanismos de bombeo y succión de finos, el alabeo cóncavo de las losas, fenómenos de erosión que producen una cavidad bajo el borde de alejamiento de las losas y en algunos casos, la baja capacidad de soporte del suelo de fundación y/o capas granulares intermedias. Su intensidad se acrecienta con la presencia de agua bajo las juntas transversales de las losas.

Generalmente el escalonamiento se produce en el lado externo de la pista, ya que, debido a condiciones constructivas, éste sólo se apoya en la última capa granular y la berma, en cambio el lado interno tiene el apoyo estructural de la losa vecina correspondiente a la pista adyacente.

**2.- Equipo.** Existen diversos equipos para medir el escalonamiento; dependiendo de sus características se suelen clasificar como equipos de alto y bajo rendimiento.

**2.1 Equipos de Alto Rendimiento.** El instrumento más característico de este tipo es el Perfilómetro Láser.

**Nota 1:** Este equipo se encuentra en proceso de evaluación y validación por el Laboratorio Nacional de Vialidad.

**2.2 Equipos de Bajo Rendimiento** El instrumento más típico de esta clase es el Escalonímetro que es un sistema manual para medir el escalonamiento de juntas y grietas. Consiste básicamente en un carro con tres apoyos nivelantes y un brazo que sostiene un extensómetro mecánico o electrónico con resolución mínima de 0,1 mm; es capaz de medir escalonamientos en el rango de 0 a 20 mm.

### **3.- Calibración y Operación del Equipo (Escalonímetro).**

**3.1 Ajuste del Cero.** Antes de utilizar, el escalonímetro debe calibrarlo para lo que debe verificarse que al colocarlo sobre sus tres patas o apoyos y con el extensómetro apoyado sobre una lámina de vidrio plano, marque como lectura el valor cero.

**3.2 Ajuste de la Pendiente.** Con el escalonímetro instalado en la posición descrita en 3.1, coloque bajo el extensómetro láminas metálicas de espesor conocido en el rango de 1 a 20 mm.

**Nota 2:** Omita este procedimiento si el instrumento dispone de un extensómetro mecánico del tipo dial comparador.

**3.3 Operación.** Para medir escalonamientos, una vez calibrado el instrumento colóquelo con sus tres apoyos cerca de uno de los bordes de la junta o grieta a medir; coloque el extensómetro tocando la losa o trozo adyacente. Así, proceda a efectuar la lectura, registrándola con una aproximación al 0,1 mm.

Mida sobre la huella externa de los vehículos, en sentido ascendente o descendente del kilometraje y a una distancia no inferior a 30 cm del borde del pavimento (unión berma – losa de pavimento). Registre como escalonamiento, el máximo valor medido en la huella externa.

### **4.- Metodología de Evaluación.**

**4.1 Objetivo.** El procedimiento consiste en determinar el desnivel o la diferencia vertical, expresada en mm, existente en una junta de contracción que separa dos losas contiguas o en una grieta que divide una

losa. En atención a lo señalado en 1, tanto para fines receptivos, de explotación, como de autocontrol, determine el escalonamiento sólo mediante escalonímetro.

**4.2 Superficie a Auscultar.** Para que las mediciones sean representativas de la situación real, ausculte el 20% del Contrato o sector bajo análisis. Para ello elija tramos de 200 m de longitud, en los que efectúe mediciones por pista de todas las juntas existentes en el tramo. Para definir los tramos a auscultar, seleccione aleatoriamente un kilometraje o punto de inicio que coincida con un múltiplo de 200 m; a partir de ese punto repita la medición cada 1.000 m.

**4.3 Singularidades.** No incluya en la auscultación singularidades tales como puentes, badenes u otras, las que por su naturaleza alteren localmente la condición del pavimento. Cuando corresponda hacer mediciones en un tramo que presenta algunas de las singularidades descritas, ajuste la auscultación a alguno de los procedimientos siguientes:

- a) Si el kilometraje de inicio del tramo a medir coincide con la singularidad, cambie ese punto avanzando hasta el kilometraje correspondiente al múltiplo de 200 m más cercano; realice la medición a partir de ese punto. Mantenga los kilómetros establecidos originalmente de los siguientes tramos a auscultar.
- b) Si el inicio de la singularidad se ubica dentro del tramo de 200 m, evalúelo siempre y cuando la longitud, descontada la zona afectada por la singularidad, sea igual o mayor que 100 m. En caso contrario, realice la medición en el kilometraje correspondiente al múltiplo de 200 m más cercano. Mantenga los kilómetros establecidos originalmente de los siguientes tramos a auscultar

**4.4 Medidas por Tipo de Calzada.** En calzadas de dos pistas realice las mediciones en la huella externa de cada una de las pistas; en calzadas de tres o más pistas, considere la huella derecha de la(s) pista(s) central (es).

**5.- Informe.** El encabezado del Informe de auscultación debe contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del contrato.
- b) Región.
- c) Rol y código del camino.
- d) Número y fecha de la Resolución que adjudicó el contrato.
- e) Identificación de la empresa contratista.
- f) Identificación del tramo auscultado.
- g) Número de la pista.
- h) Kilómetro inicial de medición.
- i) Fecha de medición.

La Lámina 8.502.12.A incluye un formulario tipo que define la forma en que debe presentarse el Informe. Para llenarlo proceda como sigue:

- a) En la primera columna anote el número de la junta en orden correlativo dentro del tramo que se está auscultando.
- c) En la segunda columna registre los escalonamientos medidos, expresados en mm.
- d) En la tercera columna, registre como observaciones las singularidades encontradas y cualquier otro antecedente que sirva de referencia a quién evalúe la información.



**8.502.13 (EN BLANCO)**

## **8.502.14 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYE DEL CIRCULO DE ARENA**

### **1.- Alcance.**

**1.1** Este Método, llamado también ensaye del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. El Método está sólo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

**1.2** Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en términos de área de contacto) entre neumático y pavimento.

### **2.- Referencias.**

- ASTM E965-96, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.
- NLT-335/87 Medida de la Textura Superficial de un Pavimento por el Método del Círculo de Arena.

### **3.- Seguridad.**

**3.1** En la descripción de este Método de ensaye no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiadas de acuerdo con la normativa vigente, antes de la puesta en práctica del ensaye.

**3.2** El personal que realiza el ensaye, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante lo anterior, se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayes.

### **4.- Terminología.**

**4.1 Macrotextura del Pavimento:** Textura correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  entre 0,5mm y 50mm, y amplitud A entre 0,1mm y 20mm. Es función de las características del pavimento asfáltico (forma, tamaño y graduación del agregado) o del método de acabado del pavimento de hormigón.

### **5.- Resumen del Método de Ensaye.**

**5.1** Los materiales estándares y los aparatos de muestreo consisten en: un material uniforme, un recipiente de volumen conocido, caja protectora de viento, escobillas para limpiar la superficie, un disco plano para esparcir el material en la superficie, y una regla u otro dispositivo de medición que permita determinar el área cubierta por el material. Una balanza de laboratorio también es recomendable para asegurar cantidades consistentes de material para cada muestra de medición.

**5.2** El procedimiento de ensaye involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta, y posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento.

**5.3** Al esparcir el material especificado en este Método de ensaye, los huecos de superficie son rellenados completamente. Este Método de ensaye no es considerado adecuado para ser usado en superficies de pavimentos que presenten huecos de superficie superiores a 25 mm de profundidad.

## 6.- Significado y Uso.

**6.1** Este Método es adecuado en ensayos en sitio para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este Método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizados. Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos sean aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este Método, pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y programas de conservación.

**6.2** Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este Método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este Método.

**6.3** La superficie de pavimento a medir mediante este Método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

**7.- Materiales y Aparato.** Los elementos esenciales para la realización del ensaye, que se muestran en la lámina 8.502.14.A, consisten en los siguientes materiales y equipos:

**7.1** Arenas normalizadas, obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado, se obtiene la arena tipo 80/100, que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100, y por otro, la arena tipo 100/200, que pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente, esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensaye.

**7.2** Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25.000 mm<sup>3</sup>, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.

**7.3** Disco para esparcir, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe estar cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.

**7.4** Escobillas: una de cerdas duras y otra, de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensaye.

**7.5** Caja protectora de viento: pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensaye.

**7.6** Regla, de al menos 300 mm de longitud, con subdivisiones al milímetro.

**7.7** Balanza: se recomienda con sensibilidad a 0,1 g, para asegurarse que el material utilizado en el ensaye sea igual en masa y volumen.

**8.- Calibración.** En este equipo se requiere principal cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos, a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto, la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones, tanto de arena y de recipientes, como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensaye.

## 9.- Procedimiento.

**9.1 Área de Muestra.** Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea, que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie, utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

**9.2 Material de Muestra.** Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de éste mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente, enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

**9.3 Medida del ensaye.** Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material, tomando cinco medidas igualmente espaciadas sobre el círculo. Calcule y registre el promedio de las cinco medidas.

**9.4** Para superficies muy lisas, donde el diámetro del parche de material esparcido sea mayor que 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

## 10.- Cálculos.

**10.1** Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$$

donde:

V : Volumen interno del cilindro, mm<sup>3</sup>  
d : Diámetro interno del cilindro, mm  
h : Altura del cilindro, mm

**10.2** Promedio de profundidad de macrotextura del pavimento: calcule el promedio de profundidad de macrotextura, usando la siguiente ecuación.

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

donde:

MTD : Profundidad media de macrotextura, mm.  
V : Volumen de arena utilizada, mm<sup>3</sup>  
D : Diámetro promedio del área cubierta por la arena, mm.

**11.- Informe.** El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

**11.1** Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.

**11.2** Fecha.

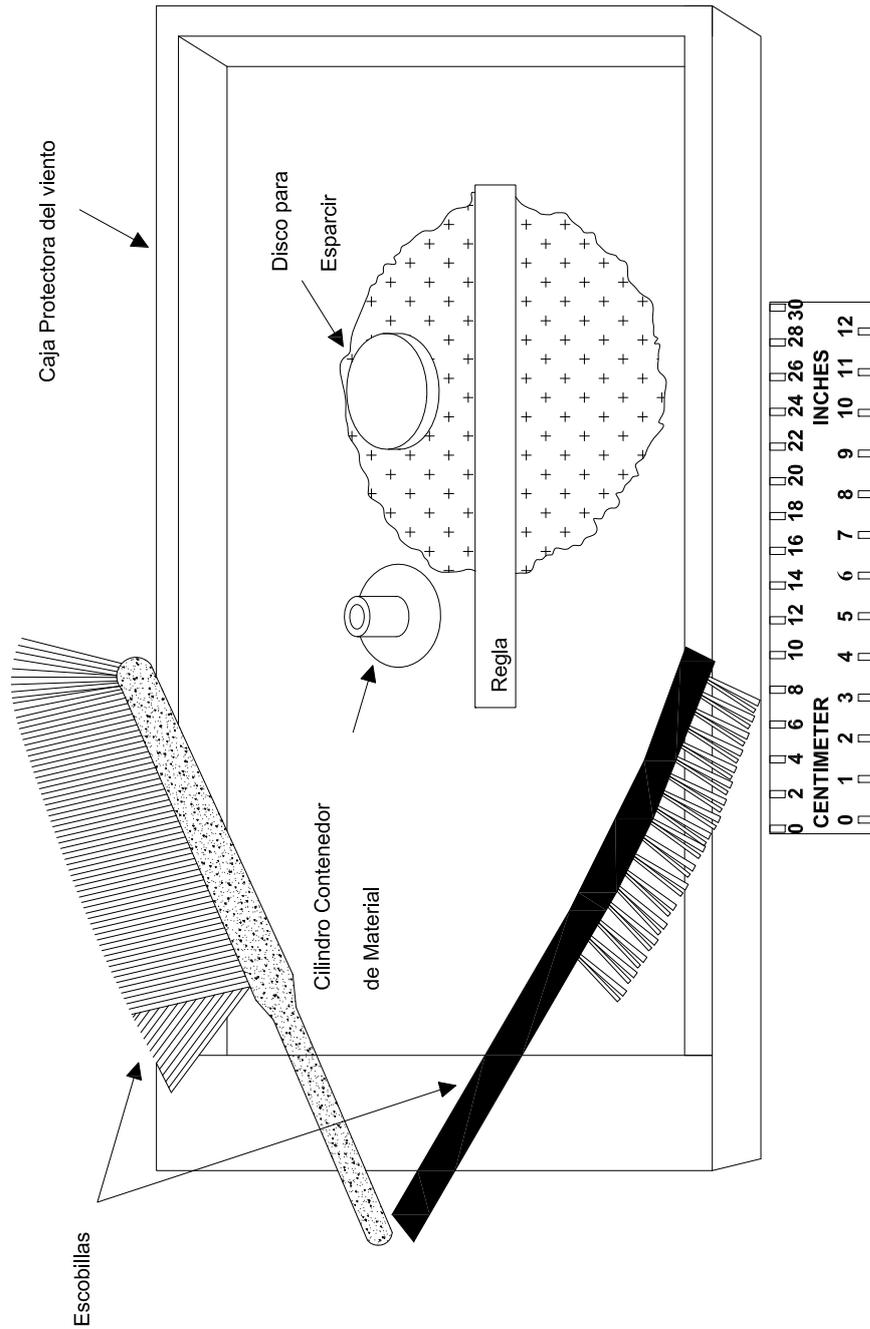
**11.3** Volumen de material utilizado en cada ensaye realizado, mm<sup>3</sup>.

**11.4** Número de mediciones realizadas en el sector.

**11.5** Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensaye.

**11.6** Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensaye.

**11.7** Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.



## 8.502.15 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DE LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE PERFILOMETRIA LASER

### 1.- Alcance.

1.1 Este Método cubre el cálculo de la profundidad media del perfil a partir del perfil de macrotextura del pavimento, medido mediante el uso de cámaras láser.

1.2 La profundidad media del perfil ha mostrado ser útil en predecir la velocidad de deslizamiento en un pavimento mojado\*.

1.3 Una transformación lineal de la profundidad media del perfil puede proveer una estimación de la textura media medida según el Método del Círculo de Arena (véase Método 8.502.14 de esta Sección).

### 2.- Referencias.

- ASTM 1845-01 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth.

### 3.- Seguridad.

3.1 En la descripción de este Método de no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiadas de acuerdo a la normativa vigente antes de la puesta en práctica del ensayo.

3.2 El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante lo anterior, se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayos.

### 4.- Terminología.

4.1 **Largo Base.** El largo de un segmento del perfil de macrotextura de un pavimento analizado, el que para los cálculos de la profundidad media del perfil debe ser de 280 mm.

4.2 **Profundidad de Textura Estimada (ETD).** Es la estimación de la profundidad media de textura (MTD), por medio de una transformación lineal de la Profundidad Media del Perfil (MPD).

4.3 **Profundidad Media del Perfil (MPD).** Es el promedio de todas las profundidades medias de los segmentos del perfil.

4.4 **Profundidad Media del Segmento (SPD).** Es el valor promedio de la profundidad del perfil de un segmento de Largo Base.

4.5 **Profundidad Media de Textura (MTD).** Profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento, determinado por la técnica volumétrica o Método del Círculo de Arena (véase Tópico 8.502.14).

4.6 **Macrotextura del Pavimento.** Textura correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  entre 0,5mm y 50mm, y amplitud A entre 0,1mm y 20mm. Es función de las características del pavimento asfáltico (forma, tamaño y graduación del agregado) o del método de acabado del pavimento de hormigón.

\* Wambold, J.C., Antle C.E., Henry, J.J., and Rado, Z., International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements, Final report, *Permanent International Association of Road Congresses* (PIARC). Paris 1995.

**5.- Equipo de Medición.** El equipo de medición está basado en cámaras láser. Los componentes básicos son los siguientes:

**5.1** Una carcasa de material resistente y correctamente sellada, para evitar que la humedad o la lluvia penetren hacia el sistema electrónico, afectándolo negativamente. Lente emisor de rayo láser que se proyecta a 90° sobre la superficie.

**5.2** Sensor receptor de la reflexión del rayo láser.

**5.3** Una serie de tarjetas y sistema electrónico, que permite desarrollar el ciclo de emisión y recepción del rayo láser. Señal que luego es enviada a través de transductores eléctricos a un computador central. A su vez, dicho proceso será posible debido al suministro de energía de algún sistema de baterías eléctricas.

**5.4** Para el sistema de calibración, se deben tener bloques patrones (de 25, 50 y 100 mm respectivamente) y una placa lisa. Todos estos elementos son de aluminio.

**5.5** Toda la información del sistema es recabada en un computador que contiene el software de operación.

**5.6** Además, el sistema debe contar con un odómetro capaz de medir las distancias acumuladas de la medición.

**5.7** Todos los elementos tales como cámara, baterías, odómetro y computador, están conectados al rack electrónico principal, que contiene los controles de encendido y apagado del sistema.

**6.- Calibración del Equipo.** La calibración de la cámara seguirá un procedimiento que consiste en la comprobación de diferencias de cotas patrón. Cabe señalar que la cámara debe ir fija a alguna estructura del vehículo que la sostiene, evitando movimientos propios de la cámara, ya que esto llevaría a la obtención de datos erróneos. Una vez asegurado ello, se procede a la calibración correspondiente.

La cámara se debe ubicar directamente sobre una superficie suficientemente regular.

El software tiene la opción de calibración de sensores láser, la cual debe ser seleccionada para esta operación. Todo este procedimiento de calibración de sensores láser se realiza con el vehículo detenido.

Primero, se activa la señal, gracias a un interruptor existente en el rack electrónico, de forma tal que el rayo comience a ser emitido. Un operador verifica el lugar exacto donde se está proyectando el rayo, ayudado por una tarjeta que permite visualizar la proyección del rayo emitido. De esta forma, el operador procede a colocar la placa lisa en el lugar donde está siendo proyectado el rayo. El computador registra luego la primera lectura, procediéndose a colocar el primer bloque con la altura de 25 mm también bajo el rayo proyectado y también sobre la placa lisa, procediendo el computador a registrar la segunda lectura; el computador mostrará en pantalla la diferencia obtenida entre ambas lecturas, la que debe aproximarse al patrón de 25 mm, con un error máximo de  $\pm 0,002$  mm. Este procedimiento debe realizarse de igual manera con los bloques de 50 y 100 mm, respectivamente.

Si el error obtenido en las lecturas supera la máxima tolerancia, se deberá repetir hasta conseguir la exactitud requerida. De lo contrario, dicha cámara debe ser llevada a mantenimiento al servicio técnico correspondiente.

Toda esta operación de trabajo con láser deberá ser efectuada por el operador o su ayudante, utilizando los lentes de seguridad exigidos por las normativas de seguridad internacional.

Otro elemento a calibrar corresponde al odómetro o distanciómetro, cuyo procedimiento consiste en predefinir una longitud patrón de 1.000 m, los que deben ser marcados al inicio y al final con cualquier elemento (conos, marcas sobre la superficie, etc.).

Para esto, el software debe estar preparado para iniciar esta calibración posicionando un neumático sobre la marca de inicio, procediendo a recorrer la distancia predefinida y marcando en el computador el inicio y fin del tramo, obteniéndose la constante eléctrica para los pulsos obtenidos por el odómetro en esta distancia.

La velocidad de operación del equipo está asociada a las recomendaciones del fabricante, de tal forma que la frecuencia de captura de datos sea mayor a 0,7 cm de espaciamiento entre cotas.

## 7.- Resumen del Método.

**7.1** Este Método se basa en la medición del perfil de macrotextura en la superficie de un pavimento mediante el uso de cámaras láser.

**7.2** El perfil medido es dividido para el análisis en segmentos, cada uno de un Largo Base de 280 mm. Luego, se calcula el residuo entre las medidas de la amplitud de la macrotextura del pavimento y una línea representada, por ajuste lineal de un polinomio de segundo orden (véase lámina 8.502.15.A).

$$PD = \left( \sum_{1}^{n} \frac{(y_i - y_e)^2}{n} \right)^{1/2}$$

donde:

$y_i$  : Valores del perfil de textura registrado

$y_e$  : Valor obtenido del polinomio de segundo orden ajustado ( $y_e = a + bx + c + x^2$ )

$n$  : Número de puntos registrados en un segmento.

El valor promedio de estas diferencias para todos los segmentos registrados sobre el perfil medido, se informa como MPD.

## 8.- Significado y Uso de esta Medición.

**8.1** Esta medición es adecuada para el cálculo de la macrotextura media del perfil. Los resultados de este cálculo, Profundidad Media del Perfil (MPD), han probado ser útiles en la predicción de la velocidad de fricción del pavimento mojado.

**8.2** El MPD se puede usar para estimar el resultado de la macrotextura en una medición usando una técnica volumétrica según el Método del Círculo de Arena (véase Tópico 8.502.14). Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño máximo de la arena usada en la técnica volumétrica y porque el MPD se deriva de un perfil de dos dimensiones, en lugar de una superficie tridimensional. Por lo tanto, se debe usar una ecuación de transformación, para convertir los valores MPD a ETD.

**8.3** Esta medición puede ser usada para determinar la macrotextura de un pavimento registrada sobre superficies de rodadura reales o muestras preparadas en centros o laboratorios.

**8.4** El tamaño del agregado, su forma, y distribución son aspectos que no se consideran en esta medición. No se pretende establecer en esta medición una evaluación completa de las características de textura. En particular, se debe tener cuidado con la interpretación de los resultados en superficies porosas o acanaladas.

**8.5** Esta medición no abarca los problemas asociados a la forma de medir un perfil. La medición de perfiles con láser u otro método óptico sin contacto con la superficie del pavimento son preferidos usualmente. De cualquier modo, métodos de contacto con la superficie que usan una aguja, también pueden proveer perfiles exactos si son utilizados apropiadamente.

**9.- Requisitos del Perfil.** Cantidad de Datos Requeridos:

Idealmente, debiera ser utilizado, si es posible, un perfil continuo realizado a lo largo de toda la longitud de la sección de prueba.

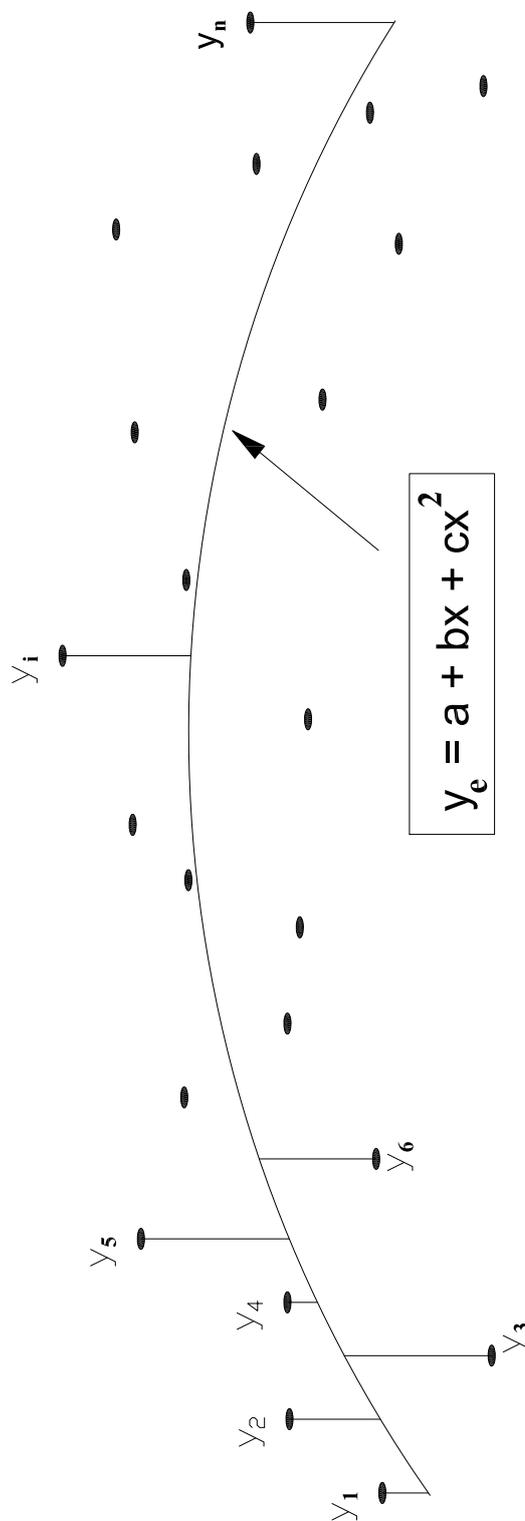
**10.- Procedimiento de Evaluación.** Para efectos de control receptivo y de explotación, se procederá a procesar la información determinada cada 200 metros. En dicho proceso deberán quedar establecidos los inicios y finales de los sectores homogéneos medidos. De igual forma, se registrará la distancia acumulada para cada tramo.

En el caso de las mediciones de estudio o de investigación, los procesos podrán llevarse a los mínimos deseables, a fin de evaluar con mayor detalle el sector auscultado.

Los valores obtenidos corresponden al promedio obtenido en cada subtramo del proceso en milímetros, siendo éste el valor representativo de la textura superficial correspondiente.

Profundidad Media del Segmento

$$SPD = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_e)^2}{n} \right)^{1/2}$$



## **8.502.16 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL)**

### **1.- Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico.

**1.2** El ensaye mide la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de goma, una de cuyas aristas roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía refleja las características antideslizantes de la superficie y se mide por el complemento del ángulo de oscilación del péndulo.

**1.3** El método de ensaye puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio de probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es propósito de este Método ensayar probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos.

**1.4** El procedimiento que se describe corresponde al uso del equipo en superficies pavimentadas y demarcaciones, para la ejecución de estudios puntuales de resistencia al deslizamiento, no siendo apto para ejecutar mediciones en tramos de medición extensos, con propósitos de gestión de fricción. Esto se debe a la baja repetibilidad espacial que presenta el Péndulo Británico, y a la dificultad para obtener ecuaciones aceptables de homologación con mediciones realizadas con otros equipos.

### **2.- Referencias.**

- TM 032-07-A PROTOTIPO DE NORMATIVA DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.
- LNLT-175/98, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico (TRRL).
- ASTM E 303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.
- MASTRAD (2004), Mastrad Calibration Rig S892 Operating Instructions, United Kingdom.

### **3.- Definiciones y Terminología.**

**3.1 Péndulo Británico:** Equipo que permite ejecutar mediciones de resistencia al deslizamiento (RD) de manera puntual en superficies pavimentadas o demarcaciones viales.

**3.2 Número de Péndulo Británico (*British Pendulum Number, BPN*):** Corresponde a la lectura arrojada directamente en la medición obtenida con el Péndulo Británico. Dependiendo del modelo, oscila entre 0 y 120.

**3.3 BPN ajustado ( $BPN_A$ ):** Valor de BPN ajustada por temperatura.

**3.4 BPN No válido ( $BPN_{NV}$ ):** Valores individuales de BPN que deben descartarse del procesamiento, por representar condiciones puntuales de la superficie del pavimento no atribuibles a su estado general.

**3.5 Resistencia al Deslizamiento Característica (RDC):** Promedio de valores de BPN en cada punto de medición.

**3.6 Desviación Estándar de la Resistencia al Deslizamiento Característica (SRDC):** Desviación estándar de los valores de BPN en cada punto de medición.

**3.7 Repetibilidad Puntual:** Valor de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, en el mismo punto, con el mismo operador, bajo las mismas

condiciones de medición. Se expresa mediante la desviación estándar ponderada y el “valor p” obtenido del análisis de varianza de mediciones repetidas.

**3.8 Espaciamento de Medición:** Distancia en m, entre dos puntos sucesivos de medición a lo largo de un tramo inspeccionado.

**3.9 Tramo Inspeccionado:** Corresponde a la longitud total de la pista sobre la que se realiza la medición de resistencia al deslizamiento con el equipo Péndulo Británico.

**3.10 Línea de Medición:** Corresponde a la trayectoria que estadísticamente siguen las ruedas delantera y trasera derecha de los vehículos. Sobre esta línea se deberá posicionar el equipo para medir RD de pavimentos.

#### 4.- Equipo de Medición y Material Necesario.

**4.1 Péndulo del TRRL.** Se emplea el aparato representado en la Lámina 8.502.16.A, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). Es un dispositivo estático de medición de RD. Posee un péndulo de caída, con una zapata de goma fijada en su extremo inferior, y una escala graduada en una placa metálica con forma de 1/4 de círculo. El péndulo cae desde una posición horizontal, describiendo una trayectoria semicircular; en la parte inferior de su recorrido, la zapata de goma roza la superficie a medir. En su desplazamiento, el péndulo arrastra un puntero indicador muy liviano, que queda fijo marcando el punto más elevado de la trayectoria sobre la escala graduada, una vez que el brazo del péndulo retorna sobre su trayectoria inicial.

La posición final del puntero indica la RD medida sobre la superficie evaluada, que se expresa en la escala como fracción decimal multiplicada por 100 (Número de Péndulo Británico o BPN). Los valores de RD medidos con Péndulo Británico presentan una alta variabilidad espacial y direccional.

El péndulo propiamente tal (véase la Lámina 8.502.16.B) con zapata y su placa soporte, tiene una masa de  $1500 \pm 30$  g. Su centro de gravedad está situado en el eje del brazo, a  $410 \pm 5$  mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tiene un radio de  $510 \pm 1$  mm. La zapata ejerce una fuerza de  $22,2 \pm 0,5$  N sobre la superficie de ensaye en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no debe ser mayor que 216 N/m.

La zapata de goma va pegada a una placa de aluminio (véase Lámina 8.502.16.C), que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de  $70^\circ$  con el eje de este brazo. De ese modo solamente la arista posterior de la goma entra en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarse alrededor del pivote (F); así, recorre las desigualdades de la superficie de ensaye, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

**4.2 Características de la Zapata de Goma.** Las dimensiones de la zapata de goma son 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor (véase la Lámina 8.502.16.D). La masa del conjunto zapata y placa soporte es de  $36 \pm 7$  g. Las zapatas se cortan de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y de una edad mínima de fabricación de seis meses. Las zapatas nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben efectuarse preparando el ensaye tal como se indica en el punto 7. Debe cambiarse la zapata cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior de 1,6 mm de alto (Lámina 8.502.16.D).

**4.3 Dispositivo de Nivelación.** El dispositivo de nivelación es del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical (Lámina 8.502.16.A).

**4.4 Dispositivo de Desplazamiento Vertical.** Es un dispositivo que permite mover verticalmente el eje de suspensión del Péndulo (Lámina 8.502.16.E), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del péndulo, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectúa por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y

de un piñón accionado por los mandos (B y B') de Lámina 8.502.16.E. La cabeza queda fijada por medio del tornillo de presión (A).

**4.5 Dispositivo de Disparo del Brazo del Péndulo.** Es un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) de Lámina 8.502.16.A, para que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

**4.6 Dispositivo de Medida.** Es un dispositivo consistente en una aguja (véase Lámina 8.502.16.A), de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto de su centro de suspensión. Cuando el brazo del péndulo se mueve libremente desde su posición inicial horizontal, arrastra la aguja hasta el final de su recorrido de ida. La aguja no acompaña al péndulo en su recorrido de regreso y queda indicando la posición a la que aquél llegó, sobre una escala circular (K) grabada en un panel. El mecanismo de suspensión de la aguja tiene un sistema de fricción regulable mediante anillos de fricción roscados (E y E' de Lámina 8.502.16.F).

## 5.- Material Auxiliar.

**5.1 Regla Graduada.** Una regla graduada (Lámina 8.502.16.G), con marcas exteriores separadas por 127 mm, y marcas interiores separadas de la exterior más próxima por 2,5 mm.

**5.2 Termómetro.** Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de -10°C a +60°C.

**5.3 Recipientes para Agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno, con capacidad de 10 litros y el otro, con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño lleva en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

**5.4 Cepillo.** Un cepillo de cerdas de goma dura, de longitud mayor que 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm<sup>2</sup>, para la limpieza de la superficie a medir.

**5.5 Cinta Métrica.** Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15m, para situar los puntos de medida.

**5.6 Caja de Herramientas.** Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

**5.7 Caja de Transporte.** Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

**5.8 Banqueta.** Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.

## 6.- Calibración de Péndulo Británico.

**6.1** La calibración del Péndulo Británico comprende básicamente la verificación del estado mecánico del mismo. Los procedimientos de calibración están regulados por el Manual del Fabricante.

### 6.2 Frecuencia de Calibración:

- La calibración detallada deberá realizarse en forma rutinaria 1 vez al año.
- La calibración periódica se realizará 24 horas antes de la ejecución de campañas de medición.

Además, ambas calibraciones deberán ejecutarse en las siguientes circunstancias

- Cuando se reemplace, repare o ajuste algún componente del equipo.
- Cuando se retorne de una campaña de medición que se prolongue más de dos semanas.
- Cuando alguna pieza no esté operando satisfactoriamente, o pueda fallar en el corto plazo.

**6.3 Procedimiento de Calibración Detallado:** El procedimiento de calibración se ajustará a las especificaciones del fabricante.

**6.4 Procedimiento de Calibración Periódico:** Esta calibración deberá considerar los siguientes pasos, ejecutados de acuerdo con las especificaciones del fabricante:

- a. Verificación de peso del Péndulo
- b. Verificación de centro de gravedad
- c. Distancia del centro de gravedad al centro de oscilación
- d. Verificación de peso de masa deslizante
- e. Verificación del estado de la zapata de goma

**Nota:** En caso en que el péndulo presente problemas, se deberá aplicar la calibración detallada en el punto 6.3.

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

**7.1 Ensamblado, posicionamiento y puesta a punto del equipo.** Antes de realizar las mediciones, se debe preparar y poner a punto el equipo, siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a. Armar el aparato en el sitio de medición.
- b. Para medir resistencia al deslizamiento en sentido longitudinal, el aparato deberá colocarse de modo tal que la zapata de goma quede alineada con respecto a la dirección longitudinal del elemento cuya RD se desea medir, y que el péndulo se desplace en esa misma dirección.
- c. Para medir resistencia al deslizamiento en sentido transversal, el equipo se deberá posicionar perpendicularmente a la dirección longitudinal del elemento a medir, y la zapata de goma golpeará la superficie en forma transversal a dicha dirección.
- d. Nivelar el instrumento mediante los tornillos (L) situados en sus patas de apoyo, hasta que la burbuja de nivelación horizontal (M) esté totalmente centrada (Lámina 8.502.16.A).
- e. Verificar la lectura “cero” del péndulo. En primer lugar, se eleva la cabeza del aparato, de forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir. Luego, se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N) [Lámina 8.502.16.A]. Después se desplaza la aguja indicadora (I) hacia la derecha hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de modo que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, sujetando el Péndulo según se indica en 7.2, presionar el pulsador (N), lo que suelta el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora sólo en su oscilación hacia adelante. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso, antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta. Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel. Si la aguja no marca cero, se realizan ajustes mediante los anillos de fricción (E y E') [Láminas 8.502.16A y 8.502.16.F]. Por ejemplo, si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección consistirá en apretar los anillos. Volver el brazo y la aguja a su posición inicial de disparo y se repite el proceso, hasta que la aguja marque cero 3 veces consecutivas.
- f. Con el péndulo nivelado y suelto verticalmente, ajustar la altura del equipo, como sigue:
  - Regular progresivamente la elevación del eje troncal del aparato con el tornillo de ajuste, hasta que la zapata de goma entre en contacto la superficie a medir.
  - Mover el brazo pendular de izquierda a derecha y viceversa, verificando con la regleta graduada del equipo la separación de los puntos de contacto entre la zapata de goma y la superficie. Dicha separación deberá estar entre 124 y 127 mm; en caso contrario, modificar la elevación del eje del péndulo, y repetir el proceso hasta lograr la separación requerida

**7.2** Una vez realizados los procedimientos anteriores, realizar los ensayos, aplicando la siguiente secuencia en cada medición:

- Llevar el brazo y la aguja a la posición horizontal.
- Esparcir suficiente agua sobre la superficie a medir y sobre la zapata de goma. Se recomienda utilizar para ello un dispositivo tipo pulverizador a gatillo. Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene nuevamente con agua.
- Se sujeta el Péndulo con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base,
- Presionar el pulsador de disparo, lo que suelta el brazo libremente. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el roce de la zapata sobre la superficie de contacto, con su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensaye, ayudándose de la palanca de elevación (P).
- La posición de la aguja indicará el valor obtenido en el ensaye. Leer el valor obtenido con una precisión de 1 BPN. La visual del operador, al realizar la lectura, deberá ser horizontal.
- Registrar en planillas la lectura efectuada.

**7.3** Ejecutar la primera medición sin registrar el dato obtenido.

**7.4** Ejecutar a continuación 5 mediciones consecutivas.

**7.5** El equipo deberá permanecer en el sitio de medición hasta que hayan sido verificadas las tolerancias que se establecen a continuación.

#### **7.6 Verificación de Tolerancias en la Medición**

- Verificar que las 5 mediciones no difieran más de 3 unidades BPN entre sí.
- Si sólo 1 valor se encuentra fuera de la tolerancia, eliminar dicho dato. Si dos o más valores se encuentran fuera de la tolerancia, repetir las 5 mediciones nuevamente.
- Repetir el procedimiento hasta un máximo de 3 veces. Si aún en la tercera repetición no se logra cumplir con la tolerancia, el equipo deberá ser recalibrado.
- En caso de cumplir con las tolerancias, calcular y registrar el valor promedio de las mediciones individuales válidas de BPN.

**7.7** No se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia, debido a que los tornillos de calibración del "cero" pueden mojarse, lo que imposibilita la calibración del equipo, obteniéndose lecturas erróneas.

**7.8** Otro factor climático sobre el cual se deben tomar medidas es el viento, ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación; más bien, trabaja libremente y el viento altera su recorrido, llevando a mediciones erróneas. En este caso, se debe considerar el uso de algún elemento que impida que el viento llegue directamente al equipo.

**7.9** Para efectos de estudios, el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección, ya sea transversal o en algún ángulo determinado, según sea el sentido del tránsito. Es así como en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° aprox. respecto del desplazamiento de los vehículos. Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, éste debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizar la medición.

**8.- Selección espaciado de medición:** Las mediciones con este equipo son de carácter puntual, motivo por el que previamente es necesario definir el espaciado de la medición. Para ello, es recomendable realizar un muestreo sistemático. Este método es recomendable en los casos en que la superficie por ensayar sea relativamente homogénea, de manera que no existan singularidades que distorsionen las mediciones.

En un tramo de longitud L, el número y espaciamento de las muestras (d) está definido por la expresión (1).

$$d = \frac{K_a^2}{t_{\alpha/2, n-1}^2 CV^2} L \quad (1)$$

Donde:

- d : espaciamento de las muestras
- $K_a$  : error máximo admisible
- t : estadístico t-student para una confiabilidad  $\alpha$  y n-1 grados de libertad
- L : longitud del tramo en que se toman las muestras
- CV : coeficiente de variación de las muestras, definido como la razón entre el promedio y la desviación estándar de los datos

El proceso de cálculo es iterativo, dado que el tamaño muestral define los grados de libertad del estadístico t. A su vez, el tamaño muestral depende del espaciamento de los puntos de muestreo.

En la Tabla 8.502.16.A se muestran valores recomendados de espaciamento obtenidos con este procedimiento, para un nivel de confianza de 95%, y diversos coeficientes de variación. En el caso presentado en la Tabla, para el cálculo se ha mantenido fijo el valor de la longitud de muestreo.

**Tabla 8.502.16.A Espaciamento de las Muestras Puntuales Asociadas a Muestreo Sistemático según CV y Longitud de la Unidad de Muestreo (m)**

L (m)	CV = 0.1	CV = 0.15	CV = 0.20	CV = 0.25
1000	150	90	60	50
2000	300	180	110	75
3000	460	270	170	115
4000	610	360	225	150
5000	760	450	280	190

En términos de puntos de medición por km, la tabla anterior puede reducirse a la expresión:

$$\text{Mediciones} = \text{Entero}(94 \cdot CV - 3.2) \cdot (\text{Puntos/km} - \text{pista}) \quad (2)$$

Esta expresión es independiente del tipo de medida. El espaciamento obtenido está asociado a un error máximo de 10% y a una confiabilidad de 95%. Por ejemplo, un espaciamento de 100 m/km-pista está asociado a un CV de 14 %.

En los casos en que no se disponga de datos para estimar un CV histórico, se empleará un CV de 15%, con lo que se obtiene una cantidad de 10 puntos por km – pista.

**9.- Línea de medición:** La medición de BPN se efectuará en la huella externa o a una distancia de 70 cm aproximadamente respecto del borde derecho de la demarcación en el sentido de avance del kilometraje.

**10.- Resultados del Ensaye.**

**10.1 El cálculo de BPN:** se procede según la ecuación (3)

$$BPN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BPN_i \quad (3)$$

en que BPN<sub>i</sub> es cada lectura individual y “n” es igual a 4 ó 5

**10.2 Ajuste por temperatura:** las medidas efectuadas en pavimentos se ven afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. Para asegurar la uniformidad de las medidas realizadas, bajo condiciones climáticas diferentes, los BPN deben corregirse mediante la ecuación (4), propuesta por el TRRL, para llevar los resultados a 20 °C.

$$F_A = 1/(1 - 0,00525(t - 20)) \quad (4)$$

en que  $F_A$  es el factor de ajuste y "t" es la temperatura en °C

**10.3 Cálculo de BPN<sub>A</sub>:** se procede según la ecuación (5)

$$BPN_A = BPN * F_A(20) \quad (5)$$

El resultado se expresa con un decimal.

**10.4 Resultados del ensaye:** se expresan según la siguiente ecuación:

$$RD = BPN_A / 100$$

Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

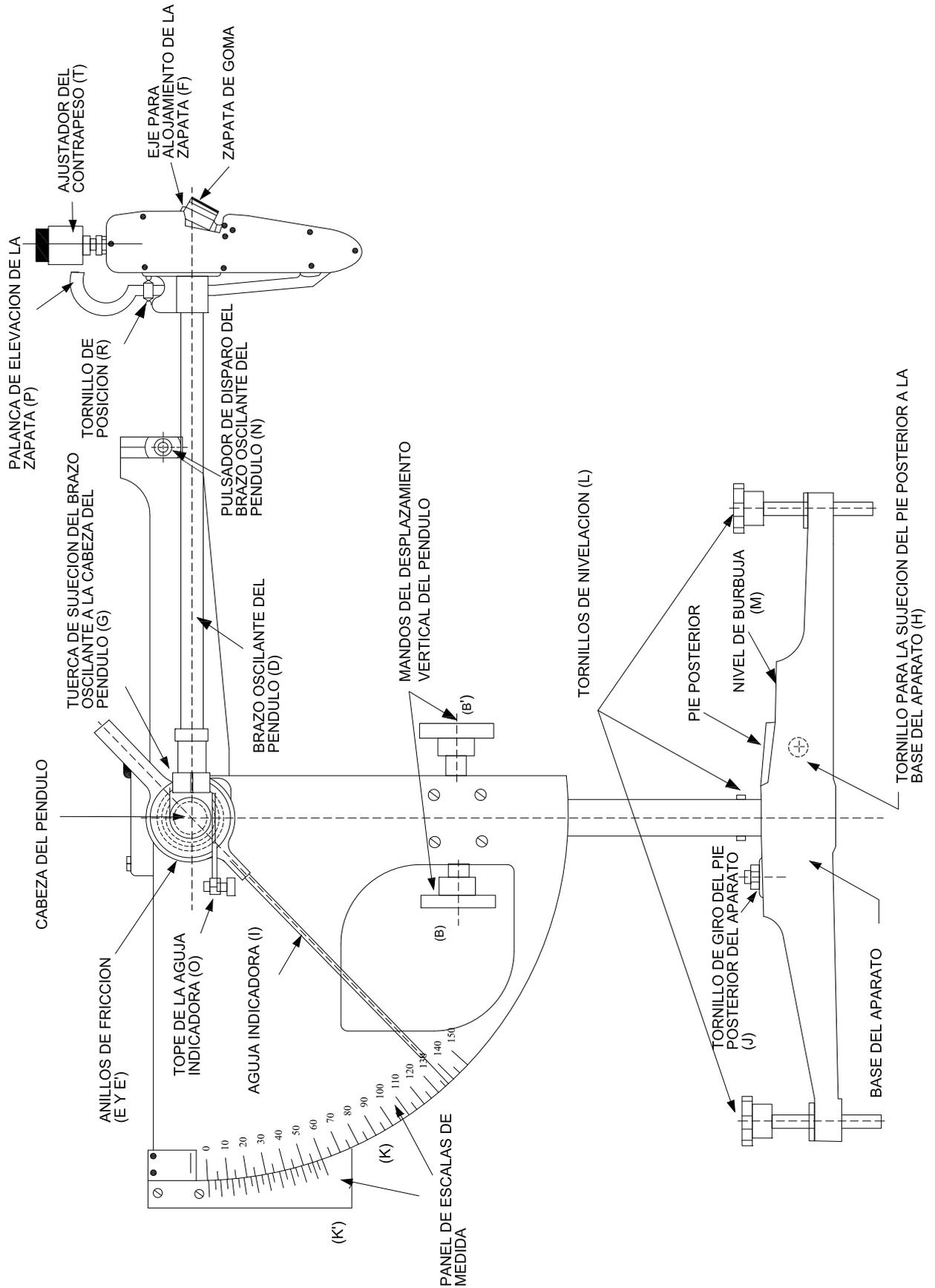
**10.5 Elaboración de Informes de Datos Procesados:** Los informes de datos deberán contener lo siguiente:

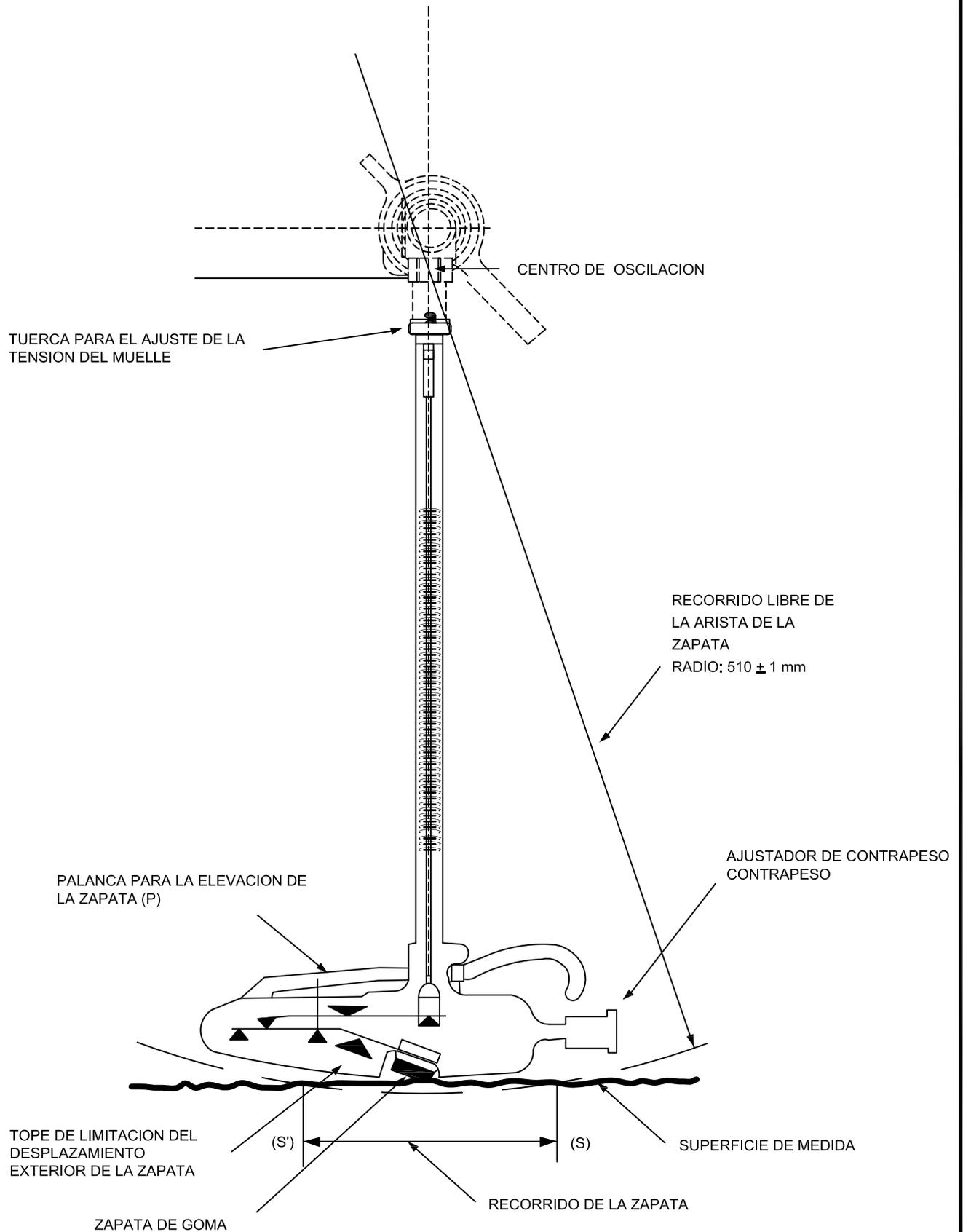
**Parte 1: Datos Administrativos**

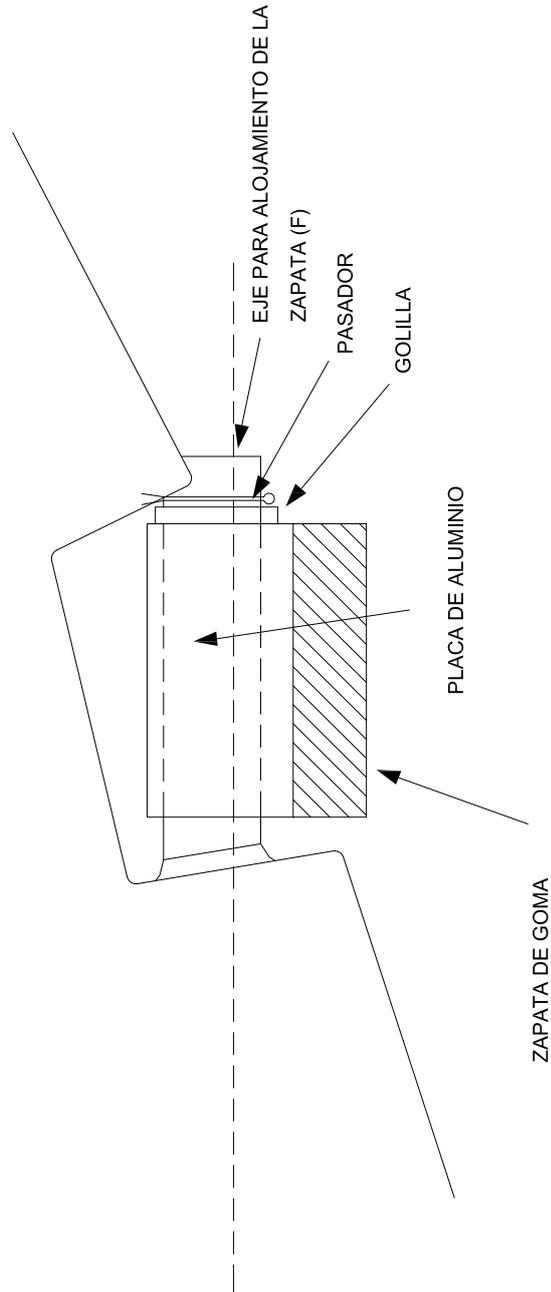
- Nombre del operador del equipo
- Ruta inspeccionada (Nombre y Rol)
- Kilómetro Inicial y Final
- Pista medida (consignada de acuerdo con clasificación de la Dirección de Vialidad)
- Hito físico de referencia
- Fecha de medición
- Código Registro Bitácora de última calibración y fecha de calibración
- Condición climática (soleado, parcialmente nublado, nublado, precipitaciones, etc.)
- Fecha de últimas precipitaciones (si está disponible)

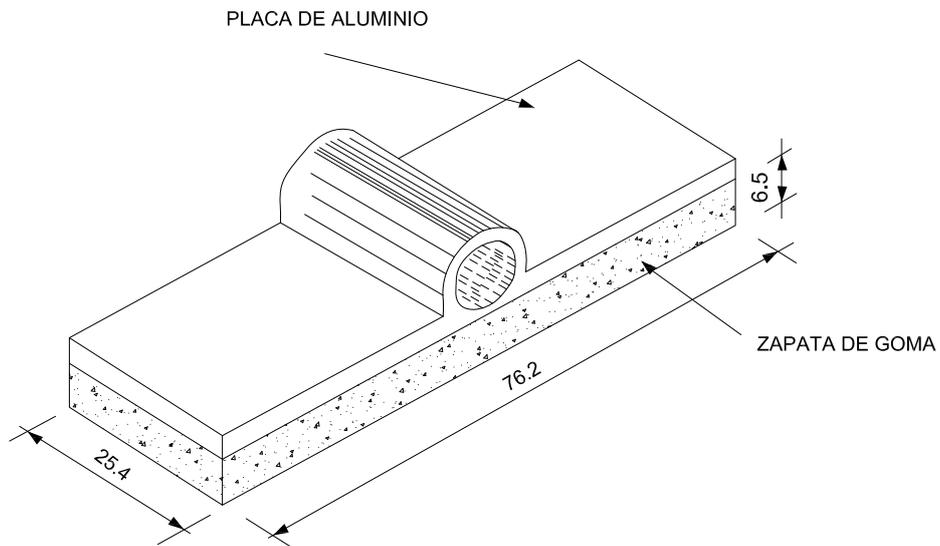
**Parte 2: Datos Procesados:** La Tabla de Registro de datos de RD deberá contener:

- 1ª Columna: Registro Kilómetro
- 2ª Columna: Temperatura
- 3ª Columna: Factor de Ajuste por Temperatura
- 4ª – 8ª Columnas: Lecturas individuales de BPN
- 9ª Columna: Valor Medio de BPN
- 10ª Columna: Valor Medio Corregido de BPN por temperatura, ajustado a un decimal, BPN<sub>A</sub>
- 11ª Columna: Valor RD: BPN<sub>A</sub>, dividido por 100 y ajustado al segundo decimal
- 12ª Columna: Observaciones: Registro de observaciones particulares respecto de situaciones especiales acontecidas durante el proceso de medición

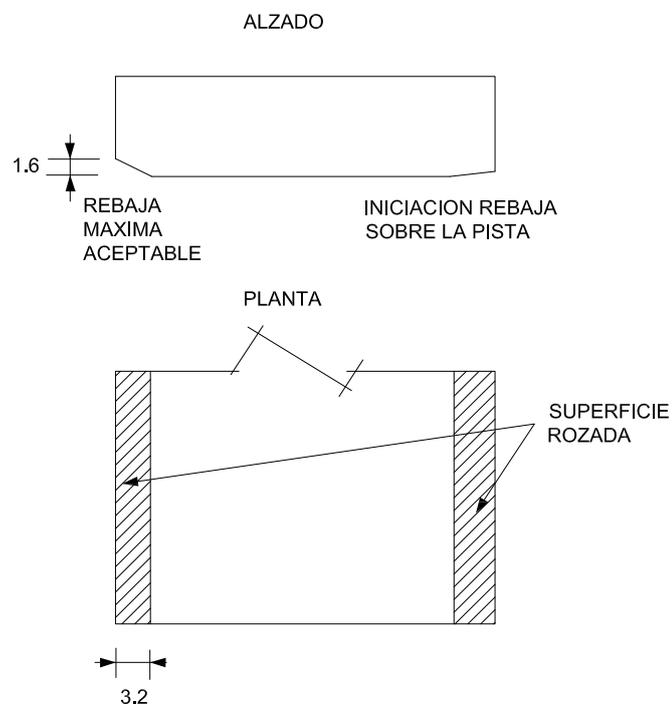




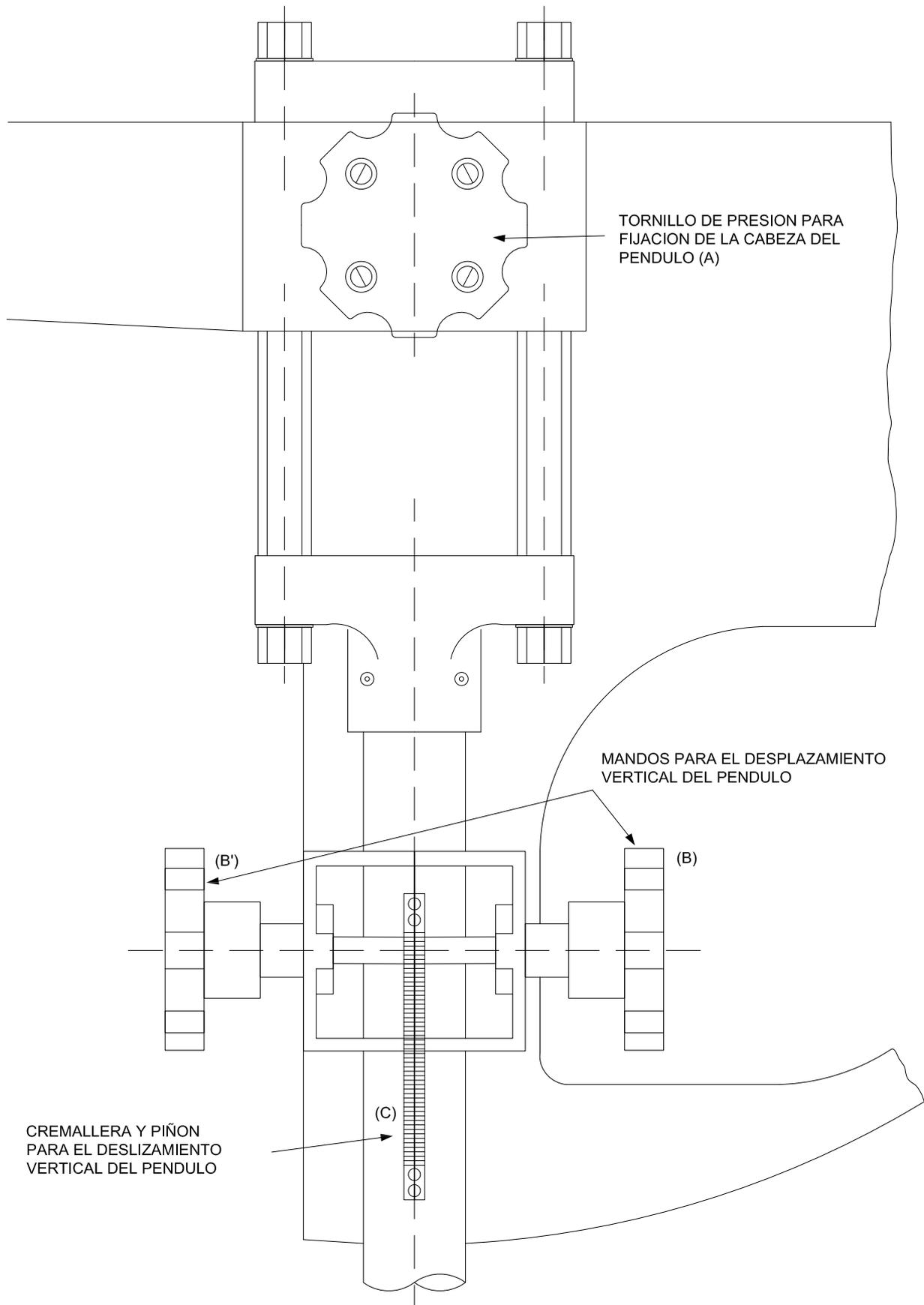


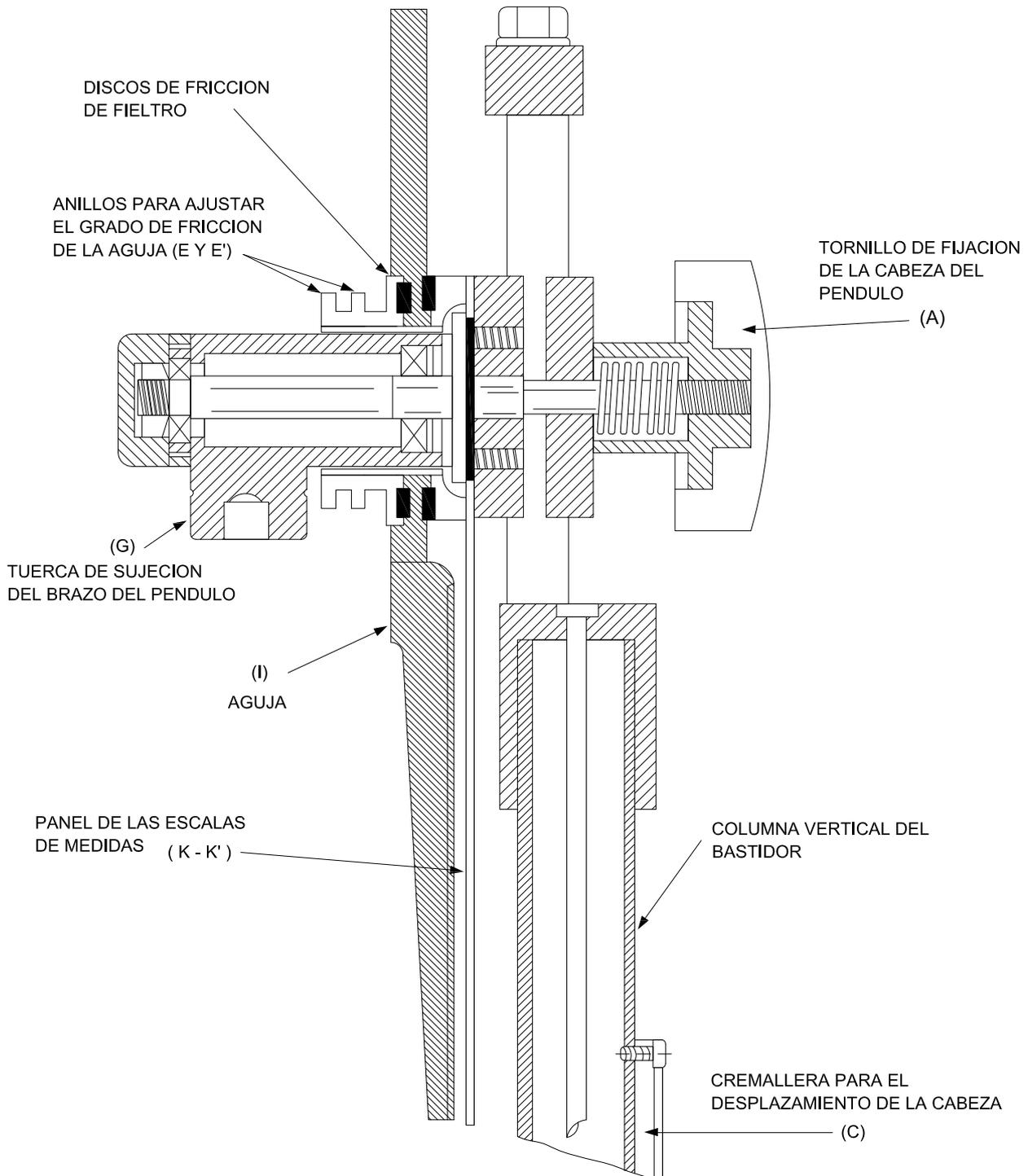


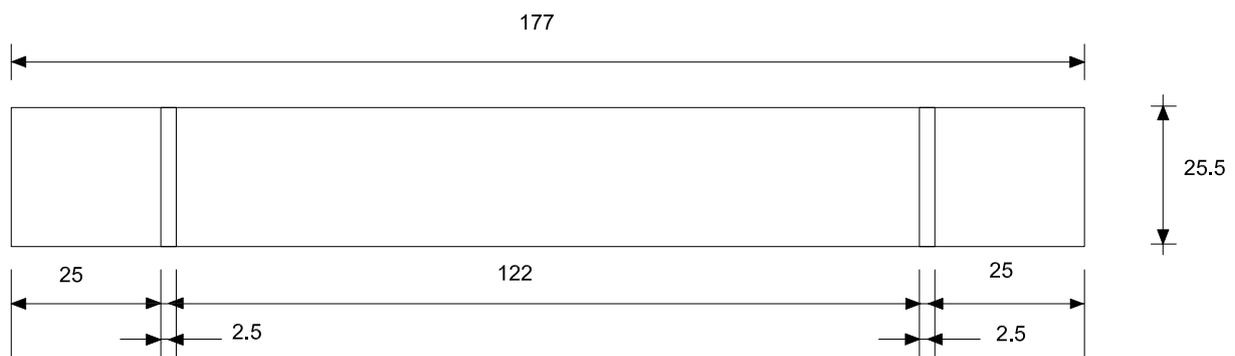
a) ZAPATA PARA MEDIDAS SOBRE PAVIMENTOS



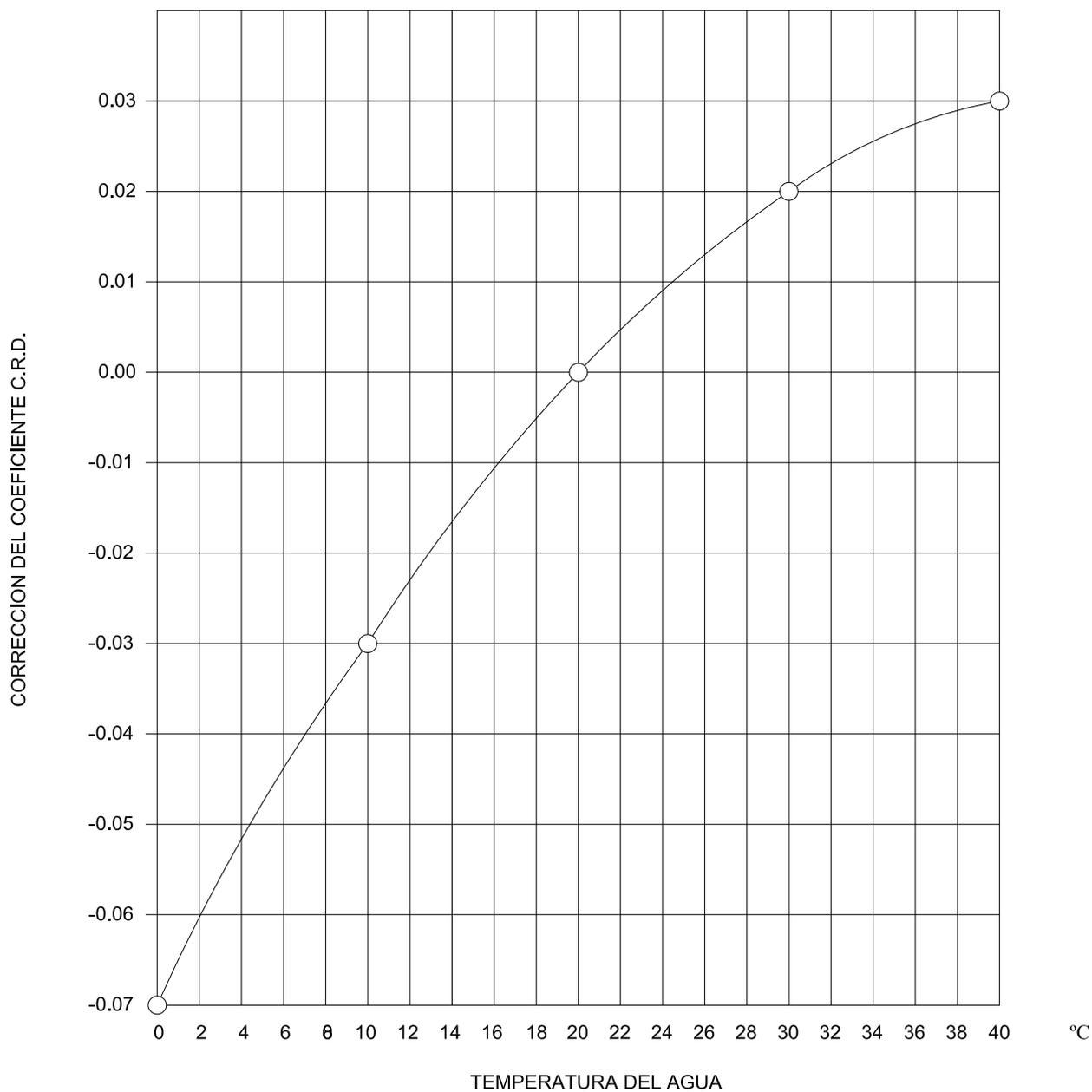
b) DETALLE DE LA SUPERFICIE ROZADA SOBRE LA ZAPATA







Dimensiones en mm.



## 8.502.17 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM

1.- **Alcance y Campo de Aplicación.** Este Método contiene el procedimiento a emplear para ejecutar y procesar mediciones de resistencia al deslizamiento en pavimentos mediante el uso del equipo SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine), además de calibrar y verificar el equipo. Está orientado básicamente a operadores del equipo y a profesionales analistas que intervienen en los procesos antes mencionados.

### 2.- Referencias

- TM 032-07-A PROTOTIPO DE NORMATIVA DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.
- SCRIM Operation and Maintenance Manual (Single Sided), Issue 1.0 (1999), WDM Ltd., Reino Unido.

3.- **Terminología y Definiciones.** En este punto se presentan las definiciones generales de uso común en el procedimiento de medición, procesamiento y análisis de datos de resistencia al deslizamiento (RD) medidos con el equipo SCRIM.

**3.1 SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine):** Equipo auto contenido, que incluye una rueda oblicua, que permite la medición continua de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo.

**3.2 Lectura SCRIM (SFC):** Razón entre la fuerza lateral y la reacción vertical en la rueda de ensaye registrada como medición individual cada 5 m, 10 m ó 20 m, según la versión del software utilizado. Corresponde a un valor entero positivo no ajustado por velocidad o temperatura y que debe ser dividido por 100.

**3.4 Lectura SCRIM ajustada (SFCa):** Lectura SCRIM, ajustada a la Velocidad Estándar de Medición y a la Temperatura de Referencia.

**3.5 Lectura SCRIM No Válida:** Datos localizados, que pueden corresponder a situaciones específicas que alteran la medición, dañan el equipo, o también a lecturas SCRIM realizadas fuera de los rangos límites de velocidad y temperatura. Estos datos son identificados por el operador del equipo o bien detectados durante la etapa de procesamiento inicial, y deben ser descartados para posteriores análisis.

**3.6 Lecturas SCRIM Singulares:** Datos específicos, cuyos valores de resistencia al deslizamiento son claramente distintos respecto de los valores registrados en las zonas aledañas. Pueden deberse, por ejemplo, a sectores con parches o reparaciones locales, o a sectores con desgaste localizado. Deben ser claramente identificados, pero no descartados.

**3.7 Velocidad de Medición (Sm):** Velocidad de circulación a la que el equipo SCRIM realiza las mediciones. Se mide en km/h.

**3.8 Velocidad Estándar de Medición:** Corresponde a una velocidad de circulación de 50 km/h para el SCRIM. Las lecturas efectuadas a velocidades fuera del rango  $50 \pm 4$  km/h deben ser ajustadas.

**3.9 Temperatura de Referencia:** Corresponde a una temperatura ambiente de 20°C, respecto de la que se ajustan valores de resistencia al deslizamiento medidos a otras temperaturas.

**3.10 Constante de Ajuste por Temperatura:** Coeficiente numérico que permite referir a 20 °C las lecturas SCRIM efectuadas dentro de un rango específico de temperaturas ambientales.

**3.11 Constante de Ajuste por Velocidad:** Coeficiente numérico que permite ajustar a la velocidad estándar de medición las lecturas SCRIM registradas a velocidades de medición fuera del rango de  $50 \pm 4$  km/h.

**3.12 Tramo Inspeccionado:** Corresponde a la longitud total del tramo de pista sobre la que se realiza la medición de resistencia al deslizamiento con el equipo SCRIM.

**3.13 Repetibilidad:** Valor de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, con un mismo equipo, una misma rueda de ensaye, con el mismo operador, bajo las mismas condiciones de medición. Se expresa mediante la desviación estándar ponderada y el "valor p" obtenido del análisis de varianza de medidas repetidas, con un 95% de probabilidad.

**3.14 Desviación Estándar Ponderada:** Valor de la desviación estándar, obtenido a partir del análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Describe el grado de desfase horizontal entre series de datos de resistencia al deslizamiento.

**3.15 Valor p:** Valor de la probabilidad asociada al estadístico F, obtenido a partir del análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Describe el grado de desfase vertical entre series de datos de resistencia al deslizamiento.

**4.- Equipo:** El SCRIM es un equipo de medición de tipo dinámico, de rueda oblicua, destinado a medir la RD en dirección transversal. Permite registrar valores medios de RD en longitudes entre 5 m y 20 m, desplazándose a velocidades entre 30 y 90 km/h. El principio de medición de la máquina se basa en la aplicación de una fuerza vertical constante de  $200 \pm 2$  kgf sobre la rueda de ensaye, que es un neumático liso de goma natural, inflado a una presión de 50 psi. Dicha rueda puede girar libremente en torno a su eje central, pero su plano de giro forma un ángulo de  $20^\circ \pm 1^\circ$  con respecto a la dirección del desplazamiento del equipo.

El equipo calcula el coeficiente de fuerza lateral (*Sideway Force Coefficient, SFC*), como el cociente entre la fuerza de resistencia al deslizamiento, cuya dirección es horizontal y perpendicular al plano de rotación de la rueda de ensaye, y la carga vertical de  $200 \pm 2$  kgf que actúa sobre esta última. Ambas fuerzas son medidas por transductores tipo strain-gauges, bajo condiciones de pavimento mojado, generadas por boquillas inyectoras de agua. El equipo permite registrar la temperatura ambiental y de la superficie del pavimento.

**4.1 Principales Componentes del Equipo:** El dispositivo de medición, está compuesto por una serie de elementos que actúan en conjunto, para definir las condiciones de medición y los parámetros que captura el sistema. Los principales componentes se muestran en la 8.502.17.A

**4.2 Rueda de Ensaye:** La rueda de ensaye es normalizada y está conformada por un neumático liso de goma natural, que tiene una presión de inflado de  $345 \pm 7$  kPa ( $50 \pm 1$  psi) en frío. El neumático es de aro 20/3. La resiliencia del neumático oscila entre 40% y 49%, medida mediante el test de Lupke. Posee una vida útil promedio de 400 a 500 km de medición.

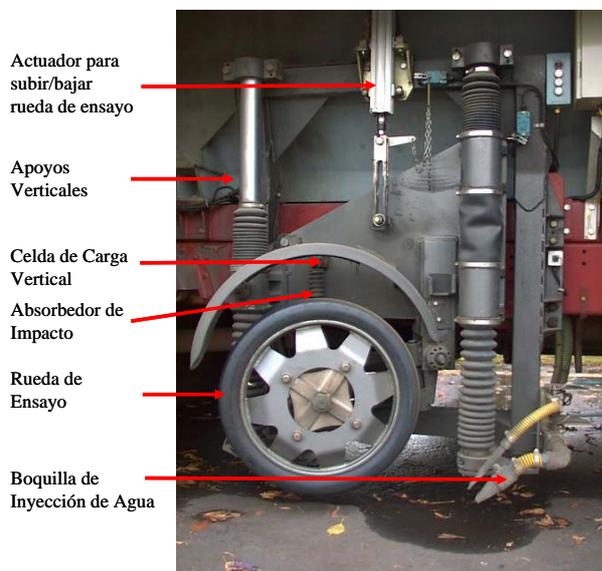
**4.3 Sistema de montaje:** La rueda de ensaye está montada sobre un eje fijado a una placa esviada  $20^\circ \pm 1^\circ$  respecto del chasis. La placa está montada en el chasis mediante dos vástagos unidos con un marco rígido al chasis. El movimiento de ascenso y descenso de la rueda se logra mediante dos unidades móviles, dispuestas en los vástagos de apoyo. El sistema posee además absorbedores de impacto, para evitar variaciones en la suspensión. La masa combinada de la placa de apoyo, marco rígido, vástagos y rueda, proporciona una carga vertical estática y constante de  $200 \pm 2$  kgf.

**4.4 Sensores de Carga:** Este dispositivo forma parte solidaria con el punto fijo de uno de los absorbedores de impacto. De este modo, la carga vertical sobre la rueda se determina midiendo la fuerza de reacción entre la placa esviada y la viga de apoyo, transmitida a través del sistema de amortiguación. La fuerza lateral se mide mediante una celda de carga montada tras el eje de la rueda de ensaye. La celda de carga posee un rango de operación que fluctúa entre 0 y  $200 \pm 2$  kgf.

**4.5 Sensor de Temperatura:** Este dispositivo permite registrar la temperatura ambiental y de la superficie del pavimento cada 5 m, 10 m. o 20 m (según versión del software utilizado). Posee una precisión de aproximadamente  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**4.6 Boquilla de Inyección de Agua:** Este dispositivo tiene por función inyectar un flujo de agua que garantiza un espesor teórico de la película de agua sobre el pavimento. El flujo habitualmente empleado es del orden de 0,95 l/s, constante e independiente de la velocidad. El agua proviene de un estanque de 5000 l que otorga un rendimiento aproximado de 50 km. de medición a 50 km/h.

**Figura 8.502.17.A Componentes del Dispositivo de Medición**



**5.- Calibración del Equipo.** En este punto se describen los procedimientos de calibración periódica y verificación a aplicar en el equipo SCRIM. El detalle sobre los mismos se deberá consultar en el Manual del Fabricante del equipo.

**5.1 Calibración Estática de la Fuerza Horizontal.** La calibración del sensor de fuerza horizontal se realiza aplicando cargas horizontales crecientes, de magnitud conocida, y registrando la respuesta indicada por el sensor, la que deberá encontrarse dentro de las tolerancias indicadas por el correspondiente Manual del Fabricante del equipo. Algunos equipos SCRIM realizan la corrección en forma automática mediante autocalibración interna.

**5.2 Calibración de la Fuerza Vertical.** Esta calibración tiene por objeto verificar la adecuada lectura de la fuerza horizontal. Esta calibración se realiza para verificar la lectura de la carga vertical del equipo. Para ello se debe verificar, mediante el uso de una balanza de precisión, que la carga vertical estándar aplicada se encuentre dentro de la tolerancia especificada por el fabricante.

**5.3 Verificaciones Dinámica y Rápida de Repetibilidad.** Estos procedimientos tienen por objetivo verificar la estabilidad y repetibilidad en sitio de las lecturas SCRIM.

En ambos casos, el tramo de prueba para obtener la base de datos, es el mismo, siendo distinto el análisis de ella para obtener cada verificación. En caso de establecer tramos de prueba fijos, éstos deberán localizarse de preferencia en lugares tales que optimicen la aplicación de este tipo de verificación. Los requisitos para obtener la base de datos son los siguientes:

- Una longitud mínima de 500 m, con una resistencia al deslizamiento aproximadamente uniforme al interior de ella.
- Deberá contar en lo posible con datos históricos de resistencia al deslizamiento. En caso en que no se cuente con tramos con datos históricos, se podrá seleccionar un tramo de prueba emplazado en el mismo sector de medición.
- El pavimento debe tener más de 5 años de edad.
- Deben evitarse las secciones curvas. En caso de no ser posible, éstas deben tener un radio superior a 250 m.

- e. La pendiente longitudinal debe ser inferior a 5%.
- f. La superficie del pavimento debe estar libre de defectos superficiales y contaminantes tales como barro, aceite, grasa, restos de caucho. Asimismo, se recomienda no considerar superficies cepilladas, ranuradas o con gravillado.
- g. Como medida de seguridad, se recomienda seleccionar tramos de prueba en los cuales el nivel de tránsito vehicular en general y el tránsito de vehículos pesados en particular, sea bajo.
- h. Balizar el tramo de prueba en el inicio y término.
- i. Los datos de resistencia al deslizamiento deberán registrarse cada 5 m.
- j. Ejecutar 4 mediciones a una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h, siguiendo el procedimiento de medición descrito en punto 6.
- k. Durante cada pasada, registrar los eventos "Inicio" y "Término".
- l. Las mediciones deben realizarse en lapsos de tiempo tal, que permita el secado de la superficie donde se depositó el agua durante la medición. El lapso de tiempo es variable, dependiendo de la rapidez con que se seque el pavimento.
- m. Descartar la primera medición, dado que ésta genera un efecto de lavado del pavimento, que distorsionará las condiciones de medición respecto de las siguientes.
- n. Considerando las últimas 3 pasadas, realizar el ajuste kilométrico de manera que las 3 pasadas queden referidas al evento "Inicio".
- o. No se deberán aplicar ajustes por temperatura y/o velocidad a los datos.
- p. Calcular los valores promedio individuales de RD cada 5 m.
- q. Calcular el valor medio de los promedios individuales de RD.
- r. Comparar los valores promedio individuales con el valor medio de los promedios individuales.

### 5.3.1 Análisis de la verificación dinámica. Se debe seguir lo siguiente:

Los valores de RD, se contrastan con los valores obtenidos en ensayos anteriores.

En caso de contar con datos históricos, los valores promedios individuales obtenidos durante la verificación, no deben diferir en más de 10 unidades SFC respecto de los datos históricos (promedios individuales y valores medios del tramo de prueba).

En caso de que no se cuente con datos históricos, el promedio individual de todas las repeticiones de las mediciones no deberá diferir en más de 5 unidades SFC entre sí. Este ensaye es equivalente a verificar la estabilidad de la medición en el corto plazo.

De no cumplirse lo indicado, se deberá revisar cuidadosamente la bitácora de calibración, para identificar posibles errores de calibración o en su defecto, posibles desperfectos del equipo.

Se deben considerar los efectos estacionales en las lecturas de resistencia al deslizamiento. Por tal motivo, dentro de lo posible, deben considerarse similares condiciones de medición cada vez que se realice esta verificación (temperatura, hora del día, condiciones climáticas generales).

### 5.3.2 Análisis de la verificación rápida de repetibilidad. Se debe seguir lo siguiente:

Si la diferencia entre el promedio individual de RD de las 3 pasadas y el valor individual de RD es inferior a 10 unidades SFC y el valor medio de los promedios individuales de RD es inferior a 5 unidades SFC, la repetibilidad es adecuada. En caso contrario, se deberá revisar cuidadosamente la bitácora de calibración para identificar posibles errores de calibración o en su defecto, posibles desperfectos del equipo.

**5.4 Verificación de Distancia u Odómetro.** Esta verificación tiene por objetivo el controlar el correcto funcionamiento del odómetro. Para ello se considera el siguiente procedimiento:

- a. Seleccionar un tramo de prueba recto, con pendiente longitudinal inferior a 5%, de 400 m de longitud, con espacio suficiente para maniobras de giro.
- b. La superficie del tramo de prueba deberá estar en buen estado, libre de cualquier defecto superficial que pudiese alterar la medición.
- c. Sobre este tramo se balizan el principio y fin, para disponer de una referencia para inicio y término de la lectura del odómetro.
- d. El punto de referencia para el inicio y término de la lectura es la posición del operador del equipo.

- e. El ensaye es independiente de la velocidad de medición. No obstante, se recomienda utilizar una velocidad de medición  $50 \pm 4$  km/h.
- f. Se realizan tres pasadas y en cada una de ellas se registra la distancia total registrada por el equipo (procedimiento manual); en caso que la operación se realice en forma automática, se debe seguir el Manual del Fabricante.
- g. El promedio no debe diferir en más de 0,2% (0,8 m) de la longitud entre las balizas que marcan el inicio y el fin del tramo de prueba.

**5.5 Verificación Sistema de Flujo de Agua.** Esta verificación contempla la revisión de dos aspectos. Uno, la correcta alineación de las boquillas inyectoras de agua respecto de la superficie de medición sobre la que se desplaza la rueda de ensaye. Otro, verificación de las tolerancias de flujo para el caudal de agua expulsada sobre la superficie del pavimento. El correcto desempeño del sistema de flujo de agua permitirá proporcionar un espesor de película de agua aproximadamente uniforme en la zona del pavimento sobre la que se desliza la rueda de ensaye.

Las boquillas inyectoras deberán estar correctamente alineadas respecto del eje longitudinal de desplazamiento del equipo. Asimismo, deberán estar dispuestas a la altura e inclinación especificada por el fabricante.

La verificación del flujo de agua se efectuará considerando las recomendaciones del fabricante.

**5.6 Verificación Detallada de Repetibilidad.** Esta verificación se realizará cada vez que se realicen experimentos de homologación de medición de RD o cuando se realice una mantención mayor del equipo. El procedimiento de análisis de repetibilidad deberá realizarse según lo establecido en el Método 8.502.20.

**5.7 Frecuencia de Calibración y Verificaciones.** La calibración del equipo SCRIM se encuentra detallada en el Manual del Fabricante. No obstante, los tipos de calibración y verificaciones a considerar y la frecuencia de calibración será la siguiente:

**Tabla 8.502.17.A Tipo de Calibración y Verificación a realizar con el Equipo SCRIM y la frecuencia de cada una de ellas**

Tipo de Calibración o Verificación	Frecuencia de Calibración o Verificación
Calibración de Fuerza Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inmediatamente antes de cada campaña de medición</li> <li>- Cada vez que se realice el recambio de algún componente del equipo</li> <li>- Cada vez que se realice una mantención mayor</li> </ul>
Calibración de Fuerza Vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inmediatamente antes de cada campaña de medición</li> <li>- Cada vez que se realice el recambio de algún componente del equipo</li> <li>- Cada vez que se realice una mantención mayor</li> </ul>
Verificación Dinámica y Rápida de Repetibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínimo 1 verificación durante cada campaña de medición.</li> </ul>
Verificación de Odómetro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cada 6 meses o cuando se cambie uno o más neumáticos del vehículo</li> </ul>
Verificación de Flujo de Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inmediatamente antes de cada medición (chequeo visual)</li> <li>- Cada 6 meses, chequear las tolerancias</li> </ul>
Verificación Detallada de Repetibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cada 1 año o al homologar equipos</li> <li>- Cada vez que se realice una mantención mayor</li> </ul>

Nota: Se considera campaña de medición cada vez que se superen 4 días de medición continua.

**6. Procedimiento de Medición.** En este punto se explican los elementos centrales del procedimiento de medición. Entre ellos se cuenta la definición del espaciamiento de medición, línea de medición y el proceso de medición mismo.

Para ejecutar las mediciones se debe contar con el equipo SCRIM debidamente calibrado.

Los principales elementos de control de calidad durante la ejecución de las mediciones están asociados al conductor y al operador del equipo SCRIM.

**6.1 Control de Velocidad de Medición.** La velocidad de medición determina la velocidad de deslizamiento y ésta, a su vez, el valor de RD. La elección de la velocidad de medición depende básicamente de la seguridad, dado que, dependiendo de las condiciones prevalecientes del tránsito y de la geometría del trazado, el conductor y el operador seleccionan una velocidad segura a la que se circulará, para reducir el riesgo de colisiones y mantener estable la trayectoria de medición, de acuerdo con el trazado. En este sentido, la velocidad de medición se seleccionará sobre la base de los siguientes criterios:

- a. En tramos de caminos en los que las condiciones de geometría, circulación vehicular, estado de la calzada y seguridad lo permitan, se utilizará una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h.
- b. Cuando las condiciones de geometría, circulación vehicular, estado de la calzada y seguridad impidan utilizar una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h, el conductor y el operador podrán utilizar velocidades de medición diferentes, pudiendo seleccionar una velocidad segura dentro de un rango entre 30 km/h y 80 km/h.
- c. Siempre que la velocidad de medición sea diferente de  $50 \pm 4$  km/h, se deberán aplicar los ajustes por velocidad descritos en el punto 7.4.

**6.2 Control de Trayectoria.** La trayectoria de la medición debe mantenerse sobre la línea de medición. Esta corresponde al valor medio de la localización de las ruedas delantera y trasera derechas de los vehículos, respecto del borde de su pista de circulación. De este modo, se recomienda que bajo condiciones de conducción normal en rectas y/o curvas amplias, la medición se realice en la huella externa, en el sentido de avance del equipo. En los casos donde la huella no sea perceptible visualmente, se considerará que ella se ubica aproximadamente a 0,7 m respecto del borde externo de la demarcación o del borde de la pista, de no existir demarcación lateral.

**6.3 Procedimiento de Medición en Terreno.** Para la medición en terreno, se deberán ejecutar los siguientes pasos:

- a. Realizar una inspección preliminar del tramo, identificando con balizas los sectores donde no sea factible o resulte riesgoso realizar mediciones (accidentes, superficie altamente deteriorada, trabajos en la vía, sectores con lomos de toro o resaltos, etc.). Para el caso de mediciones en longitudes mayores a 20 km, verificar situaciones singulares con el administrador del camino (Inspección Fiscal, Oficina Provincial, etc.).
- b. Verificar que la presión de inflado de la rueda de ensaye sea de  $345 \pm 7$  kPa ( $50 \pm 1$  psi) en frío. Se deberá chequear que dicha rueda no presente daños o desgaste irregular, y que su pérdida de diámetro debido al uso, no supere 12 mm o el indicador de desgaste (orificio en la rueda). En caso contrario, deberá reemplazarse. Cuando la rueda de ensaye sea reemplazada, ésta deberá medir al menos una longitud de 1 km, previo a su uso en mediciones de rutina.
- c. Verificar que exista suficiente agua en el estanque para las mediciones, y chequear el correcto funcionamiento del sistema de inyección de agua.
- d. Configurar el sistema de adquisición de datos para registrar valores de RD cada 5 m, y también la información sobre distancia odométrica, velocidad de medición y temperatura tanto ambiental como del pavimento.
- e. Bajar la rueda de ensaye hasta que haga contacto con el pavimento, aplicando carga de 3 kN. Encender el sistema de inyección de agua y poner en marcha el equipo.
- f. Precalentar la rueda de medición mediante la ejecución de una medición de prueba en una distancia de 500 m de longitud, antes de ingresar al tramo a medir. Esto deberá repetirse cada vez que la rueda de medición haya sido levantada fuera de contacto con el pavimento por más de 15 minutos.
- g. Conducir el equipo ajustando progresivamente velocidad y trayectoria, hasta alcanzar los valores estandarizados indicados en 6.1 y 6.2 en el punto establecido como inicio de mediciones, iniciando en dicho punto la lectura y registro de datos.
- h. Verificar que la información indicada en la letra (d) esté siendo registrada por el sistema de adquisición de datos. En caso contrario, detener el vehículo, revisar el sistema para corregir la eventual deficiencia, y reiniciar el proceso de medición.
- i. Durante las mediciones, se procurará mantener al equipo SCRIM lo más cerca posible de la velocidad y trayectoria estandarizadas de medición.

- j. Se deberán registrar todos los datos requeridos en los reportes, junto con la localización de balizas intermedias, que permitan realizar el ajuste kilométrico.
- k. Una vez finalizada la medición, se deberán ejecutar los siguientes pasos:
  - Levantar la rueda de ensaye.
  - Archivar la adquisición de datos.

#### 6.4 Consideraciones Especiales

- a. Las mediciones en los sectores de la o las pistas identificados en la inspección previa, donde no sea posible realizarlas debido a situaciones eventuales, tales como accidentes o trabajos en la vía, deberán postergarse hasta que se encuentren nuevamente habilitados al tránsito.
- b. No se efectuarán mediciones de RD en tramos con valores medios de irregularidad IRI superiores a 5 m/km.
- c. En los casos en que se ejecuten maniobras que desplacen la trayectoria de la rueda de ensaye fuera de la huella de los vehículos y/o de la pista de medición, que alteren significativamente la velocidad de medición hasta llevarla fuera del rango establecido, se deberán consignar los datos resultantes como no válidos.
- d. No se deberán efectuar mediciones en condiciones climáticas que induzcan pérdida de visibilidad o lluvia intensa, ni cuando la temperatura ambiental esté por debajo de 5 °C.
- e. Debe evitarse, dentro de lo posible, ejecutar maniobras de adelantamiento. En los casos que sean inevitables, el operador de SCRIM deberá registrar los eventos “inicio de adelantamiento” y “término de adelantamiento”.
- f. Durante la medición puede resultar inevitable ejecutar detenciones, producto de la presencia de semáforos, detenciones obligadas en sitios en donde se estén ejecutando reparaciones, zonas de peaje, detención para llenado de tanque, etc. En todos estos casos se deberá registrar los eventos “fin medición” o “inicio medición”, para posteriormente poder asociar la lectura del odómetro, el evento y el punto kilométrico.

**7.- Procesamiento de Datos.** El procesamiento de datos consiste básicamente en la organización y aplicación de ajustes a los datos obtenidos en terreno, para conformar los informes de mediciones a entregar a los analistas. En este punto se describen los pasos a considerar para ello.

**7.1 Ajuste Kilométrico.** En este paso, se efectúa el ajuste de las balizas de inicio y fin de medición, con los datos registrados en el odómetro del equipo, así como también se eliminan los datos eventualmente registrados antes de la baliza de inicio o después de la baliza de fin del tramo de medición. Con esto, se dispondrá únicamente de los datos que se encuentren dentro de la longitud del tramo inspeccionado.

**7.2 Tratamiento de Datos No Válidos.** Los datos no válidos deberán quedar claramente delimitados y no serán tenidos en cuenta en procesamiento.

**7.3 Tratamiento de Datos Singulares.** Los datos singulares deberán quedar claramente identificados y no deberán ser eliminados del procesamiento; en los informes deberán consignarse los posibles eventos que los originan.

**7.4 Ajuste por Velocidad.** El ajuste por velocidad tiene por objeto representar la lectura SCRIM en términos de una velocidad estándar de 50 km/h. Para ello, las lecturas ejecutadas a una velocidad de medición fuera del rango establecido en el punto 6.1, deberán ser corregidas mediante el ajuste calculado con la ecuación (1).

$$F_S(50) = 0,0075(S_m) - 0,375 \quad (1)$$

El resultado se aproxima al centésimo más próximo.

Por ejemplo, si una medición se realiza a 55 km/h, el ajuste corresponde a  $0,0075(55) - 0,375 = 0,04$ . Esto implica que a la medición realizada a 55 km/h se le debe agregar 0,04 unidades para estandarizarla a 50 km/h.

**7.5 Ajuste por Temperatura.** El ajuste por temperatura tiene por objeto corregir mediciones que se realicen en momentos del día en que el gradiente térmico sea elevado, dado que se ha verificado empíricamente que el valor de RD medido se ve afectado.

El ajuste sólo se aplica a mediciones realizadas entre las regiones IV y IX y entre los meses de noviembre a marzo. En el resto del año y en las otras regiones del país, la oscilación térmica diaria y sus efectos sobre SFC no son estadísticamente significativos, por lo que no se realizarán correcciones por este concepto.

El ajuste se aplica a la lectura SCRIM de acuerdo con la siguiente ecuación, en donde  $T_a$  representa la temperatura ambiental.

$$F_T(20) = \begin{cases} +0,01 & ; 5^{\circ}\text{C} \leq T_a < 20^{\circ}\text{C} \\ 0,08 - 0,004T_a & ; 20^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 30^{\circ}\text{C} \\ 0,02 - 0,002T_a & ; 30^{\circ}\text{C} < T_a \leq 35^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

**7.6 Cálculo de la lectura SCRIM ajustada.** La ecuación (3) permite calcular la lectura SCRIM ajustada por velocidad y por temperatura.

$$\text{SFCa} = \text{SFC} + F_s(50) + F_T(20) \quad (3)$$

**7.7 Informes de Datos Procesados.** El informe de datos procesados corresponde al resultado final de aplicar el procedimiento de medición.

Los contenidos de los informes de datos deberán contener la siguiente información.

**Parte 1: Información General:** La primera parte corresponderá a la información general del tramo inspeccionado y deberá elaborarse en papel. Esta parte será provista por el operador del equipo y deberá contar con la siguiente información:

- Nombre del operador del equipo
- Ruta inspeccionada (Nombre y Rol)
- Fecha y hora de medición
- Kilómetros Inicial y Final del tramo inspeccionado
- Pista medida, registrada de acuerdo con clasificación de la Dirección de Vialidad
- Tipo de superficie de pavimento predominante
- Hito físico de referencia
- Código Registro Bitácora de última calibración y fecha de calibración
- Condición climática (soleado, nublado, con precipitaciones, etc.)
- Registro de eventos que describan condiciones particulares de medición, tales como cambios de tipo de superficie, inicio y término de mediciones, registro kilométrico y cualquier evento que permita identificar, durante la medición, singularidades y situaciones que den origen a datos no válidos, tales como adelantamientos, reducciones bruscas de velocidad, detenciones.

**Parte 2: Informe de Datos Procesados:** Este informe será desarrollado en formato electrónico, en cualquier planilla de cálculo disponible. Contendrá la totalidad de los datos procesados y la clara identificación de sectores con datos no válidos y/o singulares. Se deberá confeccionar una Tabla de Registro de datos de RD, con los siguientes contenidos:

- 1ª Columna: Lectura odómetro
- 2ª Columna: Registro kilómetro "De"
- 3ª Columna: Registro kilómetro "Hasta"
- 4ª Columna: Lectura SCRIM (SFC), ajustada al segundo decimal
- 5ª Columna: Lectura SCRIM ajustada (SFCa), ajustada al segundo decimal
- 6ª Columna: Código indicando si el dato es singular o no
- 7ª Columna: Código indicando si el dato es válido o inválido
- 8ª Columna: Velocidad de medición

- 9ª Columna: Temperatura ambiental. La temperatura ambiental también puede ser medida con termómetro manual (mercurio, láser u otro)
- 10ª Columna: Temperatura superficie pavimento La temperatura de la superficie del pavimento también puede ser medida con termómetro manual (mercurio, láser u otro)
- 11ª Columna: Registro de eventos especiales (adelantamiento, detenciones, desvíos, sectores muy deteriorados, contaminados o sucios, intersecciones, etc.).

## **8.502.18 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA MEDICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIDOS CON EQUIPO GRIPTESTER**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este Método se refiere a la preparación, calibración, puesta a punto y uso del equipo GripTester, para medir resistencia al deslizamiento (RD) en pavimentos, y al procesamiento de los datos recopilados. Está orientado básicamente a operadores del equipo GripTester y a profesionales analistas que intervienen en los procesos.

### **2.- Referencias**

- TM 032-07-A PROTOTIPO DE NORMATIVA DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.
- Findlay Irvine Ltd. (2002), GripTester Survey Software for Roads, User Manual. Doc 292-516, Rev. 1.00, UK.
- Findlay Irvine Ltd. (2003), GripTester MK – II D, Maintenance Manual, Issue 2. ECR 786, UK.

**3.- Terminología y Definiciones.** En este punto se presentan las definiciones generales de uso común en el procedimiento de medición, procesamiento y análisis de datos de resistencia al deslizamiento (RD) medidos con el equipo GripTester.

**3.1 Griptester:** Equipo de rueda paralela y parcialmente bloqueada, que permite la medición de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo.

**3.2 Tramo Inspeccionado:** Corresponde a la longitud total de la pista sobre la que se realiza la medición de resistencia al deslizamiento con el equipo Griptester.

**3.3 Lectura Grip Number (GN):** Razón entre la fuerza longitudinal y la reacción vertical en la rueda de ensaye, registrada como medición individual cada 5 m. Corresponde a un valor entero positivo, no ajustado por velocidad o temperatura. Además, esta lectura debe ser dividida por 100.

**3.4 Lectura Grip Number Ajustado (GNa):** Grip Number ajustado por velocidad y/o temperatura.

**3.5 Lecturas GN Singulares (GNs):** Datos específicos de GN, cuyos valores de RD son claramente distintos respecto de los valores registrados en las zonas aledañas. Pueden deberse a condiciones puntuales, por ejemplo, parches o reparaciones locales, o sectores con desgaste localizado. Deben ser claramente identificados, pero no descartados.

**3.6 Velocidad Estándar de Medición:** Corresponde a una velocidad de circulación de 50±4 km/h, mientras el GripTester efectúa las mediciones. Lecturas efectuadas a velocidades fuera de este rango deben ser ajustadas.

**3.7 Velocidad de Medición (Sm):** Velocidad de circulación a la que el equipo GripTester realiza las mediciones. Se mide en km/h.

**3.8 Temperatura de Referencia:** Corresponde a una temperatura ambiente de 20°C, respecto de la que se ajustan valores de resistencia al deslizamiento medidos a otras temperaturas.

**3.9 Lectura GN No Válida:** Datos localizados, que pueden corresponder a situaciones específicas que alteran la medición, dañan el equipo, o también a lecturas GripTester realizadas fuera de los rangos límites de velocidad y temperatura. Estos datos son identificados por el operador del equipo o bien detectados durante la etapa de procesamiento inicial, y deben ser descartados para posteriores análisis.

**3.10 Ajuste por Temperatura:** Coeficiente numérico que permite referir a 20°C las lecturas GN efectuadas dentro de un rango específico de temperaturas ambientales.

**3.11 Ajuste por Velocidad:** Coeficiente numérico, que permite ajustar a la velocidad estándar de medición las lecturas GN registradas a velocidades de medición diferentes.

**3.12 Repetibilidad:** Valor de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, con el mismo operador, bajo las mismas condiciones de

medición. Se expresa mediante la desviación estándar ponderada y el “valor p” obtenido del análisis de varianza de medidas repetidas para una probabilidad del 95%.

**3.13 Desviación Estándar Ponderada:** Valor de la desviación estándar, obtenido a partir del análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Describe el grado de desfase horizontal entre series de datos de resistencia al deslizamiento.

**3.14 Valor p:** Valor de la probabilidad asociada al estadístico F, obtenido a partir del análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Describe el grado de desfase vertical entre series de datos de resistencia al deslizamiento.

**3.15 FACTS:** Acrónimo que describe la verificación de los componentes: Sistema de transmisión y de rodado (Free), Alineamiento (Alignment), Cadena (Chain), Neumático (Tyre) y Suspensión (Suspension) del equipo Griptester.

**3.16 SMTD (Sensor Measured Texture Depth):** Medida de la macrotextura del pavimento mediante Perfilómetro láser. Corresponde al error cuadrático medio de una curva parabólica, que describe la variación de cotas de la macrotextura superficial sobre una longitud base.

**4. Descripción del equipo GripTester.** El GripTester es un equipo compacto de 85 kgf de peso, cuyo dispositivo de medición consiste en un neumático liso de 35 cm de diámetro. Esta rueda funciona parcialmente bloqueada, con un porcentaje de deslizamiento fijo e igual a 14,5%. La carga vertical aplicada sobre dicha rueda durante la operación es de 22 a 28 kgf.

Es un equipo liviano y fácil de transportar, que puede operar en un rango de velocidades de ensaye de entre 30 y 130 km/h. Habitualmente es remolcado detrás del vehículo tractor. Su bajo peso hace que las mediciones resulten sensibles a las irregularidades del pavimento, a oscilaciones en la trayectoria, y a variaciones en la velocidad y caudal de agua. Esto exige que las condiciones de medición sean lo más controladas posible.

El equipo registra la fuerza horizontal neta sobre la rueda de medición que se desliza sobre el pavimento; dividiendo dicha fuerza por la carga vertical, se obtiene el coeficiente de resistencia al deslizamiento. El equipo está programado para entregar el valor de dicho coeficiente cada 5 m, aunque esta distancia puede variarse. El agua para mediciones se provee desde un estanque ubicado en el vehículo tractor, con un caudal que permite generar una película de agua de espesor 0,25 mm.

La siguiente figura muestra un diagrama general del equipo, presentando la mayor parte de sus componentes mecánicos. Los manuales del fabricante aportan datos adicionales sobre los mismos.

**Figura 8.502.18.A GripTester**



**5.- CALIBRACION:** La calibración del equipo GripTester se encuentra detallada en el Manual del Fabricante. En este punto se presenta una guía de aplicación de dichos procedimientos, de modo de sistematizar el proceso y establecer la recurrencia sobre la que se debe aplicar cada etapa del proceso de calibración.

**5.1 Verificación FACTS:** Previo a la calibración, se deberá aplicar la verificación FACTS de acuerdo con lo establecido en el Manual de Mantenimiento del fabricante del equipo.

**5.2 Calibración de la Fuerza Horizontal:** Esta calibración se realiza para verificar la lectura de la carga horizontal del equipo. La calibración del sensor de fuerza horizontal se realiza aplicando cargas horizontales crecientes de magnitud conocida, y registrando la respuesta indicada por el sensor, la que deberá encontrarse dentro de las tolerancias indicadas en el procedimiento especificado en el correspondiente Manual de Mantenimiento del Equipo. Se debe aplicar el procedimiento de calibración en modo "drag" especificado en dicho Manual.

**5.3 Calibración de la Fuerza Vertical:** Esta calibración se realiza para verificar la lectura de la carga vertical del equipo. Para ello se debe aplicar el procedimiento de calibración en modo "load", especificado en el Manual de Mantenimiento del Equipo.

**5.4 Verificaciones Dinámica y Rápida de Repetibilidad:** Estos procedimientos tienen por objetivo verificar la estabilidad y repetibilidad en sitio de las lecturas GripTester.

En ambos casos, el tramo de prueba para obtener la base de datos es único, siendo distinto el uso de ella para obtener cada tipo de verificación. En caso de establecer tramos de prueba fijos, estos deberán localizarse de preferencia en lugares tales que optimicen la aplicación de este tipo de verificación. Los requisitos para obtener la base de datos son los siguientes:

- a. Seleccionar un tramo de prueba de una longitud de 500 m, que deberá cumplir los mismos requisitos de selección descritos en el punto 5.5.
- b. Deberá contar en lo posible con datos históricos de resistencia al deslizamiento (GN). En caso de que no se cuente con tramos con datos históricos, se podrá seleccionar un tramo de prueba emplazado en el mismo sector de medición.
- c. El pavimento debe tener más de 5 años de edad.
- d. Deben evitarse las secciones curvas. En caso de no ser posible, estas deben tener un radio superior a 250 m.
- e. La pendiente longitudinal debe ser inferior a 5%.
- f. La superficie del pavimento debe estar libre de defectos superficiales y contaminantes tales como barro, aceite, grasa, restos de caucho. Asimismo, se recomienda no considerar superficies cepilladas, ranuradas o con gravillado.
- g. Como medida de seguridad, se recomienda seleccionar tramos de prueba en los que el nivel de tránsito vehicular en general y el tránsito de vehículos pesados en particular, sea bajo.
- h. Balizar el tramo de prueba en el inicio y término.
- i. Los datos de resistencia al deslizamiento deberán registrarse cada 5 m
- j. Ejecutar 4 mediciones a una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h, siguiendo el procedimiento de medición descrito en punto 6.
- k. Durante cada pasada registrar los eventos "Inicio" y "Término".
- l. Las mediciones deben realizarse en lapsos de tiempo tales que permitan el secado de la superficie donde se depositó el agua durante la medición. El lapso de tiempo es variable dependiendo de la rapidez con que se seque el pavimento.
- m. Descartar la primera medición dado que ésta genera un efecto de lavado del pavimento que distorsionará las condiciones de medición respecto de las siguientes.
- n. Considerando las últimas 3 pasadas, realizar el ajuste kilométrico de manera que las 3 pasadas queden referidas al evento "Inicio".

- o. No se deberán aplicar ajustes por temperatura y/o velocidad a los datos.
- p. Calcular los valores promedio individuales cada 100 m.
- q. Calcular el valor medio de los promedios individuales.
- r. Comparar los valores promedio individuales con el valor medio de los promedios individuales.
- s. Si la diferencia en valor absoluto entre el promedio individual y el valor medio de los promedios individuales es inferior a un GN de 5, la repetibilidad es adecuada. En caso contrario, se deberá revisar cuidadosamente la bitácora de calibración para identificar posibles errores de calibración o en su defecto, posibles desperfectos del equipo.

**5.5 Verificación de Distancia:** La medición de distancia es importante para asociar correctamente la resistencia al deslizamiento respecto de la distancia y kilometraje en el tramo en que se ejecutó la medición. En este ensaye se verifica que la lectura del odómetro sea correcta. Para ello se considera el siguiente procedimiento:

- a. Seleccionar un tramo de prueba recto, con pendiente longitudinal inferior a 5%, de 400 m de longitud, con espacio suficiente para maniobras de giro. Se recomienda que este tramo sea fijo y se localice cerca de los lugares habituales de operación del equipo.
- b. La superficie del tramo de prueba deberá estar en buen estado, libre de cualquier defecto superficial que pudiese alterar la medición.
- c. Sobre este tramo se balizan el principio y fin, para disponer de una referencia para inicio y término de la lectura del odómetro.
- d. El punto de referencia para el inicio y término de la lectura es la posición del operador del equipo.
- e. El ensaye es independiente de la velocidad de medición. No obstante, se recomienda utilizar una velocidad de medición  $50 \pm 4$  km/h.
- f. Se realizan tres pasadas y en cada una de ellas se registra la distancia total registrada por el equipo.
- g. El promedio no debe diferir en más de 0,2% (0,8 m) de la longitud entre las balizas que marcan el inicio y el fin del tramo de prueba.

**5.6 Verificación Sistema de Flujo de Agua:** Esta verificación contempla la revisión de dos aspectos. Uno, la correcta alineación de la boquilla inyectora de agua respecto de la superficie de medición sobre la que se desplaza la rueda de ensaye. Otro, verificación de las tolerancias de flujo para el caudal de agua expulsada sobre la superficie del pavimento. El correcto desempeño del sistema de flujo de agua permitirá proporcionar un espesor de película de agua aproximadamente uniforme en la zona del pavimento sobre la que se desliza la rueda de ensaye.

La boquilla inyectora deberá estar correctamente alineada respecto del eje longitudinal de desplazamiento del equipo. Asimismo, deberá estar dispuesta a la altura e inclinación especificada por el fabricante. Se deberá verificar que el caudal de agua se encuentre en torno a los valores establecidos en la Tabla 8.502.18.A para un espesor constante de película de agua de 0.25 mm.

**Tabla 8.502.18.A Caudal de agua para mantener un espesor de película de agua de 0,25 mm**

Velocidad de Medición (km/h)	Caudal de agua (l/min)
35	7.3
40	8.3
45	9.4
50	10.4
55	11.4
60	13.5
65	14.5
70	14.5
75	15.6

Esta verificación debe realizarse durante el proceso de armado y revisión rápida descrita en el punto 6.3 b) y c) de este Método.

**5.7 Verificación Detallada de Repetibilidad:** Esta verificación se realizará cada vez que se realicen experimentos de homologación de medición de resistencia al deslizamiento o cuando se realice una mantención mayor del equipo.

El procedimiento de análisis de repetibilidad deberá realizarse según lo establecido en el Método 8.502.20.

**5.8 Frecuencia de Calibración y/o verificación:** La calibración del equipo se encuentra detallada en el Manual del Fabricante. No obstante, los tipos de calibración y verificaciones a considerar y las frecuencias recomendadas son las siguientes:

**Tabla 8.502.18.B Procesos de Calibración o Verificación del Equipo GripTester y su frecuencia de aplicación**

Tipo de Calibración o Verificación	Frecuencia de Calibración o Verificación
Verificación FACTS	- En forma diaria, y al menos 24 h antes de realizar mediciones - Antes de iniciar la Calibración de Fuerza Horizontal y Fuerza Vertical
Calibración de Fuerza Horizontal	- Una vez al mes - Cada vez que se realice el recambio de algún componente del equipo - Cada vez que se realice una mantención mayor.
Calibración de Fuerza Vertical	- Una vez al mes - Cada vez que se realice el recambio de algún componente del equipo - Cada vez que se realice una mantención mayor.
Verificación Dinámica y Rápida de Repetibilidad	- Mínimo una verificación durante cada campaña de medición
Verificación de Distancia u Odómetro	- Una vez al mes, o cuando se reemplace alguno de los neumáticos del equipo
Verificación de Flujo de Agua	- Inmediatamente antes de cada medición (chequeo visual) - Una vez al mes (chequear tolerancias)
Verificación Detallada Repetibilidad	- Una vez al año o al homologar equipos - Cada vez que se realice una mantención mayor

**6.- Procedimiento de Medición:** En este punto se explican los elementos centrales del procedimiento de medición. Entre ellos se cuenta la definición del espaciamiento de medición, línea de medición y el proceso de medición mismo.

Los principales elementos de control de calidad durante la ejecución de las mediciones están asociados al conductor y al operador del equipo GripTester. En el caso del conductor, las variables a controlar son la velocidad y trayectoria y en el caso del operador, la correcta puesta en marcha del sistema de adquisición de datos y el adecuado registro de eventos durante la medición. De este modo, el control de estas cuatro variables permite minimizar posibles sesgos y/o errores en la captura de datos. Para ejecutar las mediciones, se debe contar con el equipo GripTester debidamente calibrado.

Bajo este contexto, en este punto se presentan los principales aspectos a controlar durante el proceso de toma de datos en terreno.

**6.1 Velocidad de Medición:** La velocidad de medición determina la velocidad de deslizamiento y ésta, a su vez, el valor de la resistencia al deslizamiento. La elección de la velocidad de medición depende básicamente de la seguridad, dado que, dependiendo de las condiciones prevalecientes de tránsito y de la geometría del trazado, el conductor selecciona una velocidad segura a la que se circulará, para reducir el

riesgo de colisiones y mantener estable la trayectoria de medición, de acuerdo con el trazado. En este sentido, la velocidad de medición se seleccionará sobre la base de los siguientes criterios:

- a. En tramos de caminos en los que las condiciones de geometría, circulación vehicular, estado de la calzada y seguridad lo permitan, se utilizará una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h.
- b. Cuando las condiciones de geometría, circulación vehicular, estado de la calzada y seguridad impidan utilizar una velocidad de medición de  $50 \pm 4$  km/h, el conductor y el operador podrán utilizar velocidades de medición diferentes, pudiendo seleccionar una velocidad segura dentro de un rango entre 35 km/h y 75 km/h.
- c. Siempre que la velocidad de medición sea diferente de  $50 \pm 4$  km/h, se deberán aplicar los ajustes por velocidad descritos en el punto 7.4.

**6.2 Control de Trayectoria.** La trayectoria de la medición debe mantenerse sobre la línea de medición. Esta corresponde al valor medio de la localización de las ruedas delantera y trasera derechas de los vehículos, respecto del borde de su pista de circulación. Por tratarse de un equipo de arrastre, tanto el vehículo de tiro como el GripTester deben localizarse de manera tal que la rueda de ensaye del GripTester se localice aproximadamente en la huella externa en el sentido de avance del equipo, bajo condiciones de conducción normal en rectas y/o curvas amplias. En los casos donde la huella no sea perceptible visualmente, se considerará que ella se ubica aproximadamente a 0,7 m respecto del borde externo de la demarcación o del borde de la pista, de no existir demarcación lateral.

**6.3 Procedimiento de Medición en Terreno:** Para la medición en terreno, se deberán ejecutar los siguientes pasos:

- a. Realizar una inspección preliminar del tramo, identificando con balizas los sectores donde no sea factible o resulte riesgoso realizar mediciones (accidentes, superficie altamente deteriorada, trabajos en la vía, sectores con lomos de toro o resaltos, etc.). Para el caso de mediciones en longitudes mayores a 20 km, verificar situaciones singulares con el administrador del camino (Inspección Fiscal, Oficina Provincial, etc.).
- b. Armar el equipo verificando la adecuada conexión y/o ensamblaje de todos sus componentes.
- c. Antes de iniciar cada proceso de medición, se deberán revisar rápidamente los siguientes aspectos:
  - *Batería:* verificar que la carga de la batería se encuentre en 12 volts. Si la carga es inferior a 10 volts, se deberá sustituir la batería, o bien cargarla hasta alcanzar 12 V.
  - *Verificación FACTS:* realizar una verificación preliminar de acuerdo con lo indicado en el Manual de Operaciones del Equipo. Se deberá verificar el sistema de transmisión y de rodado (Free), Alineamiento (Alignment), Cadena (Chain), Neumático (Tyre) y Suspensión (Suspension) del equipo.
  - *Calibración Rápida:* Se deberá verificar, de acuerdo con la Sección 2 del Manual de Mantenimiento del equipo, que la lectura "Load Zero" se encuentre en el rango  $0000 \pm 0010$ . De no ser así, repetir la verificación FACTS.
- d. Verificar que exista suficiente agua en el estanque para las mediciones, y que la temperatura del agua en la boquilla se encuentre entre  $5^{\circ}\text{C}$  y  $25^{\circ}\text{C}$ .
- e. Antes de iniciar las mediciones, se deberá verificar que el sistema de medición funcione correctamente, ejecutando los siguientes pasos.
  - Encender la unidad de procesamiento de señales (SPU) y esperar 5 minutos; luego, activar el sistema de inyección de agua, verificando su correcto funcionamiento.
  - Poner en funcionamiento el sistema de captura de datos y efectuar una medición de prueba sobre una longitud de 500 m, conduciendo el equipo a velocidad de medición.
  - Chequear el correcto funcionamiento de todos los sistemas, y verificar que a la velocidad de medición  $\pm 4$  Km/h, el flujo de agua cumpla lo establecido en la tabla 8.502.18.A
- f. Configurar el sistema de adquisición de datos para registrar valores de GN cada 5 m, y también la información sobre distancia odométrica y velocidad de medición.
- g. Medir la temperatura ambiental con termómetro de mercurio, antes de iniciar las mediciones en cada tramo.
- h. Activar el sistema de registro de datos e inyección de agua y poner en marcha el equipo.
- i. Precalentar la rueda de medición mediante la ejecución de una medición de prueba en una distancia de 500 m, antes de ingresar al tramo a medir.

- j. Posteriormente, se deberá conducir el equipo ajustando progresivamente velocidad y trayectoria, hasta alcanzar los valores estandarizados indicados en 6.1 y 6.2 en el punto establecido como inicio de mediciones, iniciando en dicho punto la lectura y registro de datos.
- k. Verificar el correcto registro de los datos indicados en la letra (f). En caso contrario, revisar el sistema y reiniciar proceso desde la letra (e).
- l. Durante las mediciones, se procurará mantener al equipo GripTester dentro del rango de la velocidad y trayectoria estandarizadas de medición.
- m. Se deberán registrar todos los datos requeridos en los reportes, junto con la localización de balizas intermedias, que permitan realizar el ajuste kilométrico.
- n. Al momento de finalizar la medición de un tramo, se deberá medir nuevamente la temperatura ambiental, calcular el promedio entre este valor y el obtenido al iniciar las mediciones (letra g), y registrar dicho valor promedio en el informe de mediciones.
- o. Una vez finalizada la medición, se debe ejecutar la siguiente secuencia:
  - Detener el sistema de adquisición de datos
  - Detener el equipo y luego el flujo de agua
  - Desmontar y poner a resguardo el equipo GripTester.

#### 6.4 Consideraciones Especiales:

*Visibilidad:* en caso que existan condiciones extremas de falta de visibilidad, no se realizarán mediciones.

*Precipitaciones:* las precipitaciones pueden influenciar el valor de GN. Por tal motivo, no se realizarán mediciones en condiciones de lluvia intensa.

*Temperatura:* la temperatura ambiental baja afecta el valor de GN. Por tal motivo, se recomienda no realizar mediciones en tanto la temperatura ambiental sea inferior a 5°C.

*Estado de la Superficie del Pavimento:* defectos superficiales de alta magnitud pueden dañar los sistemas de medición. Por tal motivo, se deberá evitar realizar mediciones en superficies altamente deterioradas o en superficies con demarcaciones de piso tales como bandas alertadoras o con lomos de toro o resaltos. Se recomienda no realizar mediciones en los casos en que el IRI sea superior a 5 m/km.

*Adelantamiento:* debe evitarse dentro, de lo posible, ejecutar maniobras de adelantamiento. En los casos en que sean inevitables, el operador del GripTester deberá registrar los eventos "inicio de adelantamiento" y "término de adelantamiento".

*Detenciones:* durante la medición puede resultar inevitable ejecutar detenciones, producto de la presencia de semáforos, detenciones obligadas en sitios en donde se estén ejecutando reparaciones, zonas de peaje, detención para llenado de tanque, etc. En todos estos casos, se deberá registrar el evento "fin medición" o "inicio medición", para posteriormente poder asociar la lectura del odómetro, el evento y el punto kilométrico.

**7.- PROCESAMIENTO DE DATOS:** El procesamiento de datos consiste en organizar y aplicar los factores de ajuste a los datos obtenidos en terreno. En este punto se describen los pasos a considerar para ello.

**7.1 Ajuste Kilométrico:**.-En este paso se realiza el ajuste de las balizas de inicio y término de medición, con los datos registrados en el odómetro del equipo, así como también se eliminan los datos eventualmente registrados antes de la baliza de inicio o después de la baliza de fin del tramo de medición. Con esto, se dispondrá únicamente de los datos que se encuentren dentro de la longitud del tramo inspeccionado.

**7.2 Tratamiento de Datos No Válidos:** Los datos no válidos deberán quedar claramente delimitados y no serán tenidos en cuenta en procesamiento de datos.

**7.3 Tratamiento de Datos Singulares:** Los datos singulares deberán quedar claramente identificados y no deberán ser eliminados del procesamiento de datos; en los informes deberán consignarse los posibles eventos que los originan.

**7.4 Ajuste por Velocidad:** El ajuste por velocidad tiene por objeto representar el Grip Number (GN) en términos de una velocidad estándar de 50 km/h. Para ello, las lecturas GN ejecutadas a una velocidad de

medición fuera del rango establecido en el punto 6.1 deberán ser corregidas mediante el factor de ajuste calculado con las ecuaciones (1) y (2).

- Texturas altas (SMTD  $\geq 1$  mm):  $F_s(50) = 0.0016 (S_m) - 0.08$  (1)
- Texturas bajas (SMTD  $< 1$  mm):  $F_s(50) = 0.006 (S_m) - 0.30$  (2)

Por ejemplo, si una medición se realiza a 55 km/h, el factor de ajuste para texturas altas corresponde a  $0.0016(55) - 0.08 = 0.003$ . Esto implica que, a la medición realizada a 55 km/h, se le debe sumar 0.03 unidades GN para estandarizarla a 50 km/h. En el caso de texturas bajas, el factor de corrección es de  $0.006(55) - 0.30 = 0.03$ . En caso de no contarse con datos de textura, se puede considerar como textura elevada las de pavimentos cepillados o ranurados, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas muy abiertas.

**7.5 Ajuste por Temperatura:** El ajuste por temperatura tiene por objeto corregir mediciones que se realicen en momentos del día en que el gradiente térmico sea elevado, dado que se ha verificado empíricamente que el valor de resistencia al deslizamiento medido se ve afectado

El ajuste sólo se aplica a mediciones realizadas entre las regiones IV y IX y entre los meses de noviembre a marzo. En el resto del año y en las otras regiones del país, la oscilación térmica diaria y sus efectos sobre GN no son estadísticamente significativos, por lo que no se realizarán correcciones por este concepto.

Los factores de ajuste se aplicarán al valor GN, de acuerdo con la ecuación (3), en donde  $T_A$  representa la temperatura ambiental.

$$\begin{aligned} 0,10 - 0,005*(T_A) & : & 5^{\circ}\text{C} \leq T_A < 20^{\circ}\text{C} \\ 0,06 - 0,003*(T_A) & : & 20^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 30^{\circ}\text{C} \\ 0,04 - 0,002*(T_A) & : & 30^{\circ}\text{C} < T_A \leq 35^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (3)$$

Es decir, para el rango de temperaturas entre  $5^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , el factor de corrección oscila entre 0.00 y + 0.075. Para el rango de temperatura entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ , el factor de corrección oscila entre - 0.03 y 0.00. Para el rango de temperaturas superiores a  $30^{\circ}\text{C}$  y hasta  $35^{\circ}\text{C}$ , el factor de corrección oscila entre - 0.02 y - 0.03.

Por ejemplo si un valor de GN fue medido a una temperatura ambiente de  $18^{\circ}\text{C}$ , el factor de corrección  $F_T(20) = + 0.01$ . Al valor de GN a  $18^{\circ}\text{C}$  se le agregará el factor 0.01 para estandarizarla a  $20^{\circ}\text{C}$ . Si la medida se realiza a  $35^{\circ}\text{C}$ , se le sumará el factor  $0.04 - 0.002(35) = - 0.03$  para estandarizarla a  $20^{\circ}\text{C}$ .

**7.5 Cálculo de Grip Number Ajustado:** El valor de Grip Number Ajustado (GNa) corresponde al valor de GN ajustado por velocidad y por temperatura. Se calculará mediante la expresión (4).

$$\text{GNa} = \text{GN} + F_s(50) + F_T(20) \quad (4)$$

**7.6 Homologación:** Eventualmente, puede ser necesario realizar la homologación de mediciones para obtener, a partir de los datos de GN medidos en el presente procedimiento, valores equivalentes a mediciones realizadas con el equipo SCRIM. En tal caso, se debe aplicar el procedimiento de homologación de mediciones descrito en 8.502.19, e incluir el cálculo de equivalencias en el informe de datos procesados.

**7.7 Elaboración de Informes de Datos Procesados:** El informe de datos procesados corresponde al resultado final de aplicar el procedimiento de medición descrito en este documento.

Los contenidos de los informes de datos deberán contener la siguiente información.

**Parte 1: Información General:** La primera parte corresponderá a la información general del tramo inspeccionado y deberá elaborarse en papel. Estos datos serán proporcionados por el operador del equipo y deberá contar con la siguiente información.

- Nombre del operador del equipo
- Ruta inspeccionada (Nombre y Rol)

- Fecha y hora de medición
- Kilómetros Inicial y Final del tramo inspeccionado
- Pista medida, registrada de acuerdo a clasificación
- Tipo de superficie de pavimento predominante
- Temperatura ambiental al iniciar mediciones en el tramo
- Temperatura ambiental al finalizar las mediciones en el tramo
- Hito físico de referencia
- Código Registro Bitácora de última calibración y fecha de calibración
- Condición Climática (Soleado, nublado, con precipitaciones, etc.)
- Registro de eventos que describan condiciones particulares de medición, tales como cambios de tipo de superficie, inicio y término de mediciones, registro kilométrico y cualquier evento que permita identificar durante la medición singularidades y situaciones que den origen a datos no válidos, tales como adelantamientos, reducciones bruscas de velocidad, detenciones.

**Parte 2: Informe de Datos Procesados:** Este informe será desarrollado en formato electrónico, en cualquier planilla de cálculo disponible. Contendrá la totalidad de los datos procesados, y la clara identificación de sectores con datos no válidos y/o singularidades. Se deberá confeccionar una Tabla de Registro de datos de RD, con los siguientes contenidos.

- 1ª Columna: Lectura odómetro
- 2ª Columna: Registro kilómetro “De”
- 3ª Columna: Registro kilómetro “Hasta”
- 4ª Columna: Lectura GripTester (GN), ajustado al segundo decimal
- 5ª Columna: Lectura GripTester ajustada (GNa), ajustado al segundo decimal
- 6º Columna: Código indicando si el dato es singular o no
- 7ª Columna Código indicando si el dato es válido o inválido
- 8ª Columna: Velocidad de medición
- 9ª Columna: Caudal de agua
- 10ª Columna: Temperatura ambiental
- 11ª Columna: Registro de eventos especiales (adelantamiento, detenciones, desvíos, sectores muy deteriorados, contaminados o sucios, intersecciones, etc.)

**Anexo:** Se deberán entregar en formato digital (extensión \*.csv) los archivos de medición.

## 8.502.19 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO DE HOMOLOGACIÓN DE MEDICIONES DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y MACROTEXTURA

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este Método se aplica a la homologación entre mediciones de resistencia al deslizamiento realizadas con equipo SCRIM (*Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine*) y GripTester, y mediciones de macro textura realizadas con distintos perfilómetros láser.

Está dirigido al personal encargado de evaluar el comportamiento de la condición superficial de la red vial pavimentada, en materia de resistencia al deslizamiento y macro textura.

### 2.- Referencias.

- TM 033-07 PROTOTIPO DE NORMATIVA DE EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICION DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (2008), Proyecto FONDEF D03I-1042.
- Método 8.502.17 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM
- Método 8.502.18 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA MEDICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIDOS CON EQUIPO GRIPTESTER

### 3.- Definiciones y Terminología.

**3.1 SCRIM (Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine):** Equipo auto contenido que incluye una rueda oblicua, que permite la medición continua de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo (véase Método 8.502.17).

**3.2 GripTester:** Equipo de rueda paralela y parcialmente bloqueada que permite la medición de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo (véase Método 8.502.18).

**3.3 Perfilómetro Laser:** Equipo que utiliza tecnología láser para medir el perfil longitudinal de una superficie pavimentada (véase Método 8.502.8).

**3.4 Grip Number Representativo (GNp):** Valor de resistencia al deslizamiento representativo de una flota de equipos GripTester. Se obtiene al homologar cada GripTester individualmente con el Equipo Representativo.

**3.5 Grip Number Ajustado (GNa):** Valor de Grip Number ajustado por velocidad y/o temperatura.

**3.6 Coeficiente SCRIM Equivalente (SFCe):** Valor de resistencia al deslizamiento equivalente al coeficiente SCRIM. Se obtiene al aplicar las ecuaciones de homologación de los equipos GripTester y SCRIM.

**3.7 SMTD (Sensor Measured Texture Depth):** Medida de la macrotextura del pavimento, obtenida mediante perfilómetro láser. Corresponde al error cuadrático medio de una curva parabólica que describe la variación de cotas de la macro textura superficial sobre una longitud base.

**3.8 Homologación:** Acción de poner en relación de equivalencia las mediciones de un mismo fenómeno físico, obtenidas con distintos procedimientos y equipos, de modo que sean comparables entre sí.

**3.9 Curva de Referencia:** Relación gráfica entre resistencia al deslizamiento y velocidad de deslizamiento, que puede estar representada como el promedio de las curvas correspondientes a un conjunto de equipos de la misma naturaleza, o bien, por la curva de un equipo específico.

**3.10 Equipo Representativo:** Corresponde a un equipo, virtual o físico, representativo de una flota de equipos de las mismas características.

**3.11 Equipo de Referencia:** Corresponde al equipo físico a cuya medida se homologan medidas de resistencia al deslizamiento realizadas con equipos de distintas características. En Chile, corresponde al equipo SCRIM, perteneciente a la Dirección de Vialidad.

**3.12 Velocidad de Medición (Sm):** Corresponde a la velocidad con que circula el vehículo de medición de resistencia al deslizamiento. Se mide en km/h.

**3.13 Velocidad de Deslizamiento (Se):** Es la velocidad con que se desliza la rueda de ensaye del equipo de medición, respecto de la superficie pavimentada, en km/h. Corresponde a una proporción de la velocidad de medición.

**3.14 Velocidad de Referencia (V):** Parámetro de calibración de la ecuación de homologación utilizada para calcular el coeficiente SCRIM equivalente, en km/h.

**3.15 Constante de velocidad (Sp):** Constante que describe el efecto de la macrotextura sobre la homologación, en km/h.

**3.16 Constantes de Calibración:** Corresponden a los coeficientes obtenidos de calibrar las ecuaciones de homologación de resistencia al deslizamiento y macrotextura.

**4.- Cálculo de Coeficiente SCRIM Equivalente.** Las mediciones de resistencia al deslizamiento realizada con el equipo GripTester deberán homologarse a valores equivalentes a la medición de resistencia al deslizamiento realizada con el equipo SCRIM. Para ello, se deberá utilizar la información y procedimientos especificados en este Tópico.

#### 4.1 Información requerida.

- Informe de mediciones de resistencia al deslizamiento obtenidas con el equipo GripTester, de acuerdo con lo establecido en Método 8.502.18 de MC-V8.
- Informe de mediciones de macrotextura obtenidas con perfilómetro laser, según lo establecido en Método 8.502.15 de MC-V8.
- Identificación clara del equipo de medición empleado en cada caso.
- Constantes de calibración asociadas a cada equipo utilizado para medir, publicadas en la versión más reciente disponible del "Informe de Homologación de Mediciones de Resistencia al Deslizamiento y Macro Textura" realizado según protocolo emitido por el Laboratorio Nacional de Vialidad.

**4.2 Procedimiento de Cálculo para Macro Texturas Altas.** Una macrotextura se define como alta, si su valor medido con perfilómetro laser es superior o igual a 1 mm, expresado en unidades SMTD. En este caso, se aplicarán los siguientes pasos para el proceso de homologación:

- Seleccionar, del último "Informe de Homologación de Mediciones de Resistencia al Deslizamiento y Macro Textura" disponible, las constantes de calibración asociadas al equipo GripTester y al Perfilómetro Láser utilizados en las mediciones ( $a_R$ ,  $b_R$ ,  $a_P$ ,  $b_P$ , A, B, D, E) y la velocidad de referencia (V).
- Calcular el valor de la constante  $Sp$  asociado al perfilómetro utilizado en las mediciones, aplicando las ecuaciones (1) y (2). En ellas, el subíndice "R" corresponde al del equipo de referencia (SCRIM) y "P" al de GripTester Representativo. SMTD corresponde a la medición de macro textura realizada con perfilómetro laser, expresada en mm y las constantes  $a_R$ ,  $b_R$ ,  $a_P$ ,  $b_P$  son las constantes de calibración de las ecuaciones.

$$Sp_R = a_R + b_R(SMTD) \quad (1)$$

$$Sp_P = a_P + b_P(SMTD) \quad (2)$$

- Obtener el valor de la velocidad de deslizamiento ( $Se$ ) de los equipos de referencia y patrón, mediante las ecuaciones (3) (para el GripTester Representativo) y (4) (para el equipo de referencia SCRM) a partir de la velocidad de medición ( $Sm$ ).

$$Se_p = 0.145(Sm) \quad (3)$$

$$Se_R = 0.342(Sm) \quad (4)$$

- Obtener el valor de  $GN_p$  para el equipo GripTester utilizado en las mediciones, mediante la ecuación (5). Los coeficientes D y E corresponden a los coeficientes de homologación del GripTester al GripTester Representativo.

$$GN_p = D + E(GN_a) \quad (5)$$

- Calcular el valor de  $SFC_e$  mediante la ecuación (6), introduciendo las constantes de calibración A, B, V, los valores de  $Sp_R$  y  $Sp_P$  calculados mediante las ecuaciones (1) y (2), los valores de  $Se_P$  y  $Se_R$  obtenidos mediante las ecuaciones (3) y (4) y el valor de  $GN_p$  obtenido mediante la ecuación (5).

$$SFC_e = \left( e^{\left[ \frac{V - Se_R}{Sp_R} \right]} \right) \left( A + B(GN_p) e^{\left[ \frac{Se_p - V}{Sp_P} \right]} \right) e^{\left[ \frac{1}{(Sp_R)(Sp_P)} \right]} \quad (6)$$

- Registrar el valor de  $SFC_e$  obtenido en el informe de mediciones, de acuerdo con lo especificado en Método 8.502.17 de MC-V8.

**4.3 Procedimiento de Cálculo para Macro Texturas Bajas.** Una macrotextura se define como baja, si su valor medido con perfilómetro láser es inferior a 1 mm, expresado en unidades SMTD.

En este caso se aplicarán los siguientes pasos para el proceso de homologación:

- Seleccionar, del último "Informe de Homologación de Mediciones de Resistencia al Deslizamiento y Macro Textura" disponible, las constantes de calibración para macrotexturas bajas, asociadas al equipo GripTester y al Perfilómetro Láser utilizados en las mediciones (A,B).
- Calcular directamente el valor  $SFC_e$  mediante la ecuación (7).

$$SFC_e = A + B(GN_p) \quad (7)$$

- Registrar el valor de  $SFC_e$  obtenido en el informe de mediciones, de acuerdo con lo especificado en Método 8.502.17 de MC-V8.

**5.- Actualización de Parámetros de Homologación.** La actualización de los parámetros de homologación tiene por objeto contar con parámetros de calibración que sean representativos de las condiciones generales de la red y, a su vez, permitir la incorporación de nuevos equipos de medición de resistencia al deslizamiento y macrotextura. Por tanto, persigue considerar las siguientes situaciones posibles:

- Reducción o incremento importante de la macrotextura media en la red.
- Incorporación de nuevas superficies para calibrar, con características diferentes a las utilizadas en calibraciones anteriores.
- Incorporación de un equipo de medición distinto a los considerados en homologaciones previas o equipos adicionales.

La actualización deberá realizarse considerando los procedimientos específicos desarrollados en el Procedimiento de Homologación.

**6.- Informe de Homologación.** Cada vez que se actualicen los parámetros de homologación, la Dirección de Vialidad emitirá un informe con los resultados de la actualización. Este informe tendrá por título "Informe de Homologación de Mediciones de Resistencia al Deslizamiento y Macro textura". Dicho informe tendrá los siguientes contenidos.

- Una introducción que describa el trabajo desarrollado y el período de tiempo durante el cual es válido.
- La identificación de los tramos de medición considerados en la calibración
- El espacio de inferencia obtenido
- Cuadro de parámetros de calibración
- Rangos de validez y error de calibración

## **8.502.20 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA EVALUACION DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICION DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método describe el procedimiento de evaluación de repetibilidad en equipos de medición continua de resistencia al deslizamiento, y de reproducibilidad para flotas de estos equipos. La repetibilidad y reproducibilidad son importantes para controlar la calidad de las mediciones e identificar probables problemas en los equipos de medición de resistencia al deslizamiento, especialmente cuando se realizan experiencias de homologación de equipos. Los procedimientos indicados en esta sección se llevarán a cabo en forma conjunta con una frecuencia mínima anual. Esta sección está orientada al personal a cargo del análisis de datos de resistencia al deslizamiento y mantenimiento de los equipos.

### **2.- Referencias**

- TM 032-07-B PROTOTIPO DE NORMATIVA DE HOMOLOGACIÓN DE MEDIDAS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y MACROTEXTURA (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.
- Método 178.502.17 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM
- Método 8.502.18 AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES: METODO PARA LA MEDICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIDOS CON EQUIPO GRIPTESTER

### **3.- Terminología y Definiciones.**

**3.1 SCRIM (Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine):** Equipo auto contenido que incluye una rueda oblicua, que permite la medición continua de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo (véase Método 8.502.17).

**3.2 GripTester:** Equipo de rueda paralela y parcialmente bloqueada que permite la medición de la resistencia al deslizamiento en condición de pavimento húmedo (véase Método 8.502.18).

**3.3 Repetibilidad:** Indicador de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, con el mismo equipo y operador, bajo las mismas condiciones de medición. Se expresa mediante valores obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, la desviación estándar ponderada y el "valor p".

**3.4 Reproducibilidad:** Indicador de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre la misma superficie y bajo idénticas condiciones de medición, pero con diferentes equipos del mismo tipo. Corresponde a la desviación estándar ponderada respecto de la gran media de un conjunto de datos.

**3.5 Desviación Estándar Ponderada:** Valor de la desviación estándar, obtenido a partir del ANOVA de medidas repetidas.

**3.6 Valor p:** Valor de la probabilidad asociada al parámetro estadístico F, que se obtiene a partir del ANOVA de medidas repetidas.

**4. Selección y preparación de tramos.** Al evaluar la repetibilidad y reproducibilidad en forma conjunta, los equipos incluidos en la evaluación deberán realizar mediciones en terreno bajo condiciones controladas. Para ello, se deberá seleccionar un conjunto de tramos que deberán cumplir con los siguientes requisitos:

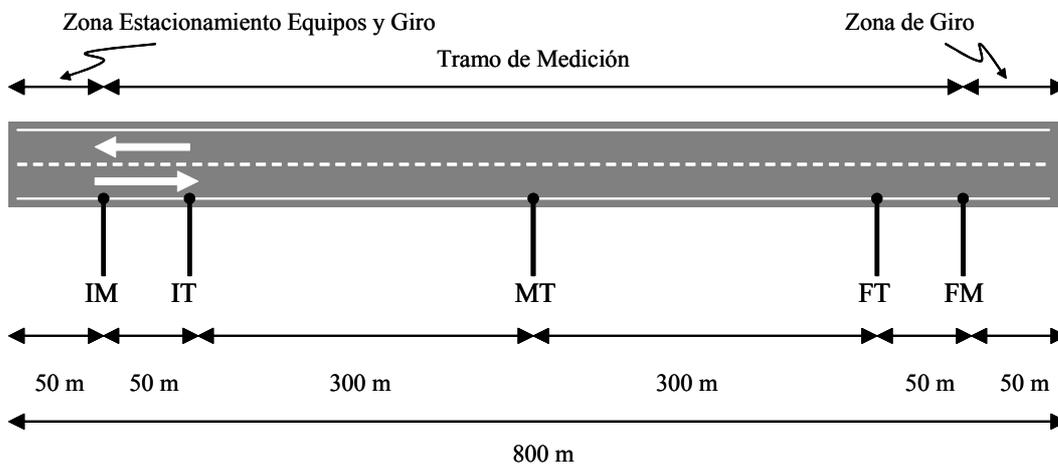
- Tipo de superficie: se incluirán al menos cuatro (4) tipos de superficie pavimentada, con dos (2) tramos por tipo de superficie. Por ejemplo:
  - Carpeta asfáltica
  - Hormigón
  - Hormigón cepillado
  - Tratamiento superficial.
- Geometría: deberán ser tramos rectos, de al menos 800 m de longitud, con pendiente longitudinal inferior a 3% y de preferencia, con bermas de 50 cm de ancho mínimo.
- Condiciones superficiales: la superficie deberá estar libre de suciedad, deterioros o relieves que causen vibraciones verticales excesivas del equipo (baches, grietas, ondulaciones, cantoneras de puentes, resaltos, lomos de toro, etc.). Los tramos seleccionados no deberán tener un IRI superior a 4 m/km, medido con una antelación no superior a un año antes de la ejecución de los experimentos.

No se incluirán tramos en zonas urbanas con frecuentes movimientos de vehículos y peatones, ni donde la sombra impida o retarde el secado superficial. Se deberá disponer de espacio para montar y desmontar equipos, y para giros de retorno.

Se registrará para cada tramo el nombre y rol de la ruta respectiva en donde está emplazado el tramo de medición, su tipo de superficie y los km de inicio y término. En cada tramo deberán disponerse 5 balizas, según la Figura 8.502.20.A, utilizando pintura que ofrezca un alto contraste con la superficie. Se registrará el kilometraje de cada baliza:

- Baliza de Inicio de Mediciones (IM)
- Baliza de Inicio de Tramo (IT)
- Baliza de Mitad de Tramo (MT)
- Baliza de Fin de Tramo (FT)
- Baliza de Fin de Mediciones (FM)

**Figura 8.502.20.A Balizado de tramos para análisis de repetibilidad y reproducibilidad**



## 5.- Procedimiento de verificación de repetibilidad.

**5.1 Calibración de Equipos.** Se deberá efectuar la totalidad de procesos de calibración indicados para cada tipo de equipos (véanse Métodos 178.502.17, punto 5, para equipos SCRIM, y 8.502.18, punto 5, para equipos GripTester).

## 5.2 Ejecución de Mediciones.

- Entre los tramos seleccionados según punto 4, se deberá elegir y balizar un tramo por tipo de superficie.

- En cada tramo balizado se ejecutarán 5 mediciones, siguiendo los procedimientos descritos para cada equipo en particular (véanse 178.502.17, punto 6, para equipos SCRIM, y 8.502.18, punto 6, para el caso de equipos GripTester).
- Las mediciones se realizarán a una velocidad de 50±4 km/h, a intervalos tales que permitan el secado superficial del pavimento entre pasadas sucesivas.
- No se llevarán a cabo mediciones en días de lluvia o con condiciones climáticas inestables.
- Se deberá descartar la medición correspondiente a la primera pasada del primer equipo, para evitar el sesgo por efecto de limpieza inicial del pavimento. Por ello, se deberá efectuar una medición adicional en ese caso, para completar las cinco pasadas requeridas.
- Se deberá realizar ajuste kilométrico para referir las 5 mediciones al mismo evento "Inicio de Tramo" (baliza IT).
- Los operadores de los equipos deberán estar suficientemente capacitados para realizar las tareas de mediciones.

**5.3 Procesamiento de Datos.** Las mediciones deberán ordenarse en planilla electrónica, disponiendo en forma tabular los datos de cada pasada, con columnas consecutivas para cada equipo. Los datos no deben ser corregidos por velocidad y/o temperatura.

El intervalo de proceso de los datos será de 5 m.

**5.4 Cálculo de índices de repetibilidad.** Sobre los datos medidos en las sucesivas pasadas de cada equipo dentro de un mismo tramo, se deberá aplicar el método ANOVA para calcular los indicadores de repetibilidad. En la Tabla 8.502.20.A se muestran los componentes de un ANOVA.

Se adoptará para cada tramo  $K = 5$ , correspondiente a la cantidad de pasadas válidas por equipo. La desviación estándar ponderada se calculará mediante la ecuación (1). El valor SSE se calcula de la Tabla 5.A.

$$S = \sqrt{\frac{SSE}{N - K}} \quad (1)$$

**Tabla 8.502.20.A Componentes de la Tabla de ANOVA**

	Grado de Libertad (df)	Suma de Cuadrados (SS)	Cuadrados Medios (MS)	Valor F	Valor p
Réplicas (T)	$K - 1$	$SST = \sum_{i=1}^K \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{N}$	$\frac{SST}{K - 1}$	$\frac{SST}{K - 1} * \frac{N - K}{SSE}$	$p = \phi^{-1} \left( \frac{SST}{K - 1} \frac{N - K}{SSE} \right)$
Error (E)	$N - K$	$SSE = SST_{Tot} - SST$	$\frac{SSE}{N - K}$		
Total (Tot)	$N - 1$	$SST_{Tot} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$			

Donde:

N: número total de datos

$n_i$ : número de datos de la réplica i

K: número de réplicas

T: gran media

$T_i$ : media del grupo i de réplicas

**5.5 Evaluación de repetibilidad.** Para cada tramo y equipo se deberán verificar los indicadores de repetibilidad obtenidos respecto de los valores de referencia indicados a continuación.

- a. **Tolerancias de repetibilidad para equipos SCRIM:** la máxima desviación estándar ponderada admisible ( $S_{MAX}$ ) se calculará mediante la expresión (2), donde RD es el valor promedio de resistencia al deslizamiento medida con SCRIM para el tramo en estudio, expresada en decimal.

$$S_{MAX} = \frac{0.07}{RD} \quad (2)$$

Si el valor de la desviación estándar ponderada (S) calculado por ANOVA es inferior a  $S_{MAX}$  y el valor p es inferior a 0.05, entonces el equipo posee una repetibilidad adecuada.

- b. **Tolerancias de repetibilidad para equipos GripTester.** Se debe verificar la condición impuesta por la ecuación (3), donde S es la desviación estándar ponderada, obtenida según la ecuación (1) y GN es el valor promedio de resistencia al deslizamiento medida en el tramo.

$$\left( \frac{S}{GN} \right)_{MAX} \leq 0.1 \quad (3)$$

Si el valor del término  $S_{MAX}$  es inferior a 0.10 y el valor p es inferior a 0.05, entonces el equipo posee una repetibilidad adecuada.

**5.6 Incumplimiento de tolerancias.** En caso que en uno o más tramos se superen los límites admisibles impuestos por las tolerancias, se deberán repetir las mediciones en dichos tramos, controlando cuidadosamente velocidad y trayectoria de medición. Si aun así no se alcanzan las tolerancias establecidas, se deberá someter al equipo a una verificación exhaustiva, para identificar posibles errores de calibración, o eventuales desperfectos en el equipo.

**5.7 Informe de la evaluación de repetibilidad.** Los resultados de la evaluación de repetibilidad se informarán en un reporte que incluya:

#### Parte 1: Datos Generales, para cada tramo (en papel)

- Identificación del equipo utilizado y operador del equipo
- Ruta (Nombre y Rol)
- Topónimos identificatorios del tramo
- Kilómetros Inicial y Final
- Pistas medidas (consignada de acuerdo a clasificación de la Dirección de Vialidad)
- Tipo de pavimento (carpeta asfáltica, hormigón, hormigón cepillado, tratamiento superficial)
- Hito físico de referencia
- Fecha y hora de medición
- Código Registro Bitácora de última calibración y fecha de calibración
- Condición Climática (Soleado, parcialmente nublado, nublado, precipitaciones, etc.).

**Parte 2: Datos Procesados (en soporte digital).** Se confeccionará para cada tramo una Tabla Registro de Datos de resistencia al deslizamiento medidos en las sucesivas pasadas por cada equipo, con las lecturas ajustadas al mismo evento "Inicio de Tramo" (véase Fig. 8.502.20.A), que deberá contener:

- 1ª Columna: Lectura odómetro
- 2ª Columna: Registro kilómetro
- 3ª a 7ª Columnas: Mediciones de RD registradas en las cinco pasadas sucesivas
- 8ª Columna: Registro de eventos especiales

Para cada tramo se indicarán los valores calculados de desviación estándar ponderada (S) y valor de probabilidad (p), como así también la verificación de repetibilidad respecto de las tolerancias (Verifica / No Verifica).

**6. Procedimiento para verificación de reproducibilidad.** Para verificar los indicadores de reproducibilidad en cada flota de equipos, se deberán realizar mediciones en terreno, bajo condiciones controladas, en todos los tramos seleccionados, según los criterios indicados en el punto 4 anterior (2 tramos por cada uno de los tipos de superficie), los cuales deberán estar correctamente balizados. Se deberán seguir las etapas que se indican a continuación.

**6.1 Calibración de equipos.** Se deberá efectuar la totalidad de procesos de calibración indicados para cada tipo de equipos (véanse Tópicos 8.502.17, punto 5, para equipos SCRIM, y 8.502.18, punto 5 para equipos GripTester).

**6.2 Ejecución de Mediciones.** Las mediciones se efectuarán según el procedimiento correspondiente para cada tipo de equipos (véanse Tópicos 8.502.17, punto 6, para equipos SCRIM, y 8.502.18, punto 6, para el caso de equipos GripTester). No se llevarán a cabo mediciones en días de lluvia o con condiciones climáticas inestables.

El proceso de mediciones para verificar reproducibilidad se ajustará a la siguiente secuencia.

- Numerar cada equipo, con rótulos, 1, 2, 3, ..., N.
  - Realizar 5 pasadas en total por cada equipo, en forma alternada, tal como sigue:
    - Pasada 1 – Equipo 1, Pasada 1 – Equipo 2,....., Pasada 1 – Equipo N.
    - Pasada 5 – Equipo 1, Pasada 5– Equipo 2,....., Pasada 5– Equipo N.
  - La primera pasada del primer equipo deberá descartarse, para evitar sesgo por efectos de limpieza inicial del pavimento, y repetirse nuevamente.
  - Las mediciones se realizarán a intervalos tales que permitan el secado superficial del pavimento entre pasadas sucesivas.
  - Al finalizar cada pasada por equipo, se deberá verificar lo siguiente:
    - Todas las balizas de la figura 8.502.20.A deben haber sido registradas como evento.
    - Entre las balizas IM y FM, la velocidad de medición debe estar siempre dentro del rango 50±4 km/h
- De no cumplirse estos requisitos, se deberá repetir nuevamente la pasada.
- Los datos obtenidos del trabajo de terreno deberán ser entregados por el operador al analista en archivo electrónico, con la nomenclatura "Rol Ruta – N° Pasada – N° Equipo" (ej. un archivo "G25 - P4 - E1" corresponde a una medición en ruta G-25 en la pasada 4 del equipo 1).

**6.3 Procesamiento de Datos.** Las mediciones deberán ordenarse en planilla electrónica, disponiendo en forma tabular los datos de cada pasada, con columnas consecutivas para cada equipo, siguiendo el formato indicado en las Tablas 8.502.20.B y 8.502.20.C para GripTester y SCRIM respectivamente. Los datos no deben ser corregidos por velocidad y/o temperatura.

El intervalo de procesamiento de los datos será de 5 m.

**Tabla 8.502.20.B Formato tabular para la verificación de reproducibilidad de equipo Griptester**

km	P1-E1			P1-E2			....	P5-EN		
	Od	Se(km/h)	GN	Od.	Se(km/h)	GN		Od.	Se(km/h)	GN
							....			
							....			

**Tabla 8.502.20.C Formato tabular para la verificación de reproducibilidad de equipo SCRIM**

km	P1-E1				P1-E2				....	P5-EN			
	Od	Se(km/h)	Q(l/m)	GN	Od.	Se(km/h)	Q(l/m)	GN		Od.	Se(km/h)	Q(l/m)	GN
									....				
									....				

En que:

Pi-Ei : N° de pasada "P" y de equipo "E"

Se: velocidad de medición

km: kilometraje

Q: caudal de agua

Od: lectura del odómetro del equipo

GN: valor de Grip Number

**6.4 Cálculo de índices de reproducibilidad.** El indicador de reproducibilidad se calcula para cada pasada del grupo de equipos, mediante la ecuación (4), correspondiente al valor de S (desviación estándar ponderada), por lo cual se deberán determinar cinco (5) valores de S por tramo, uno por cada pasada. El valor SSE se calcula de la Tabla **8.502.20.A**. El número de réplicas (K) corresponde en este caso a la cantidad de equipos por flota involucrados en la verificación.

$$S = \sqrt{\frac{SSE}{N - K}} \quad (4)$$

**6.5 Evaluación de reproducibilidad.** Para la evaluación de reproducibilidad de cada flota de equipos, se analizarán los dos valores más altos obtenidos para S entre los cinco valores calculados por tramo, con los siguientes criterios:

- Si ningún valor de S es superior a 0,08, o bien si este límite es superado sólo en un tramo, se considera que todos los equipos de la flota verifican reproducibilidad satisfactoriamente.
- Si en 2 o más tramos de medición el mayor valor de S es superior a 0,08, se deberá investigar cuál es el equipo que aporta mayor dispersión. Para identificarlo, se deberá evaluar la reproducibilidad par a par entre equipos.
- Una vez identificado el equipo causante de la mayor dispersión, se volverán a determinar los valores de S, descartando las mediciones efectuadas por dicho equipo.
  - Si el valor resultante de S se sitúa por debajo de 0,08, entonces el equipo identificado presenta problemas de calibración, no puede ser considerado como reproducible de la flota y deberá ser revisado.
  - Si el valor de S se mantiene sobre el valor máximo, se debe efectuar una revisión completa tanto de la flota de equipos, como del procedimiento efectuado, para detectar las causas del problema, debiendo eventualmente repetir todo el proceso, de ser necesario.

**6.6 Incumplimiento de tolerancias.** En caso de que un equipo supere los límites admisibles impuestos por las tolerancias, ese equipo deberá repetir las mediciones en dichos tramos, controlando cuidadosamente velocidad y trayectoria de medición. Si aun así no se alcanzan las tolerancias establecidas, se deberá someter al equipo a una verificación exhaustiva, para identificar posibles errores de calibración o eventuales desperfectos en el equipo.

**6.7 Informe de la evaluación de reproducibilidad.** Los resultados de la evaluación de reproducibilidad se informarán en un reporte que incluya:

**Parte 1: Datos Generales**, para cada tramo (en papel):

- Identificación de equipos utilizados y operador del equipo
- Ruta (Nombre y Rol)
- Topónimos identificatorios del tramo
- Kilómetros inicial y final
- Pistas medidas (consignada de acuerdo a clasificación de la Dirección de Vialidad)
- Tipo de pavimento (carpeta asfáltica, hormigón, hormigón cepillado, tratamiento superficial)
- Hito físico de referencia
- Fecha y hora de inicio y término de mediciones
- Código Registro Bitácora de última calibración y fecha de calibración
- Condición Climática (soleado, parcialmente nublado, nublado, precipitaciones, etc.)

**Parte 2: Datos Procesados** (en soporte digital): Se confeccionará para cada tramo una Tabla Registro de Datos medidos en las sucesivas pasadas por cada equipo, con las lecturas ajustadas al mismo evento "Inicio de Mediciones", de acuerdo al formato indicado en las Tablas 8.502.20.B u 8.502.20.C, según sea el caso.

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.600 SEGURIDAD VIAL**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



## MANUAL DE CARRETERAS

### VOLUMEN 8

#### ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL

#### INDICE

#### CAPITULO 8.600 - SEGURIDAD VIAL

#### INTRODUCCION

#### SECCION 8.601 ESPECIFICACIONES PARA SEGURIDAD VIAL

- 8.601.1 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.601.2 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

#### SECCION 8.602 METODOS PARA SEGURIDAD VIAL

- 8.602.1 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO EN ENVASE DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.2 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL PODER CUBRIDOR EN PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.3 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA MATERIA NO VOLATIL EN MASA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.4 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA (VISCOSIDAD) DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.5 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.6 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL SANGRADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.7 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE RESISTENCIA AL FLUJO DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.8 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR Y FACTOR DE LUMINANCIA DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.9 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE INFLAMACION DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.10 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD AL CALOR DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.11 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.12 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA ENSAYE DE FLEXIBILIDAD MEDIANTE MANDRIL CILINDRICO PARA PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.13 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE MICROESFERAS DE VIDRIO DEFECTUOSAS
- 8.602.14 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE LA RESISTENCIA DE MICROESFERAS DE VIDRIO A LOS AGENTES QUIMICOS
- 8.602.15 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE REFRACCION DE MICROESFERAS DE VIDRIO
- 8.602.16 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD DIURNA DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.17 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD NOCTURNA (RETROREFLECTANCIA) DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.18 SEGURIDAD VIAL: METODO DE MUESTREO Y CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL
- 8.602.19 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE SECADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

- 8.602.20 **SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA REFLECTANCIA DE LAS TACHAS REFLECTANTES**
- 8.602.21 **SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR DE LAS TACHAS REFLECTANTES**
- 8.602.22 **SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESPRENDIMIENTO DE TACHAS REFLECTANTES**
- 8.602.23 **SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TACHAS REFLECTANTES**
- 8.602.24 **(EN BLANCO)**
- 8.602.25 **(EN BLANCO)**
- 8.602.26 **(EN BLANCO)**
- 8.602.27 **(EN BLANCO)**
- 8.602.28 **SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION A LA ABRASION SECA A MATERIALES DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**
- 8.602.29 **SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION DE LA ADHERENCIA DE PRODUCTOS DE DEMARCACION VIAL HORIZONTAL**
- 8.602.30 **SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA PRODUCTOS TERMOPLASTICOS DE APLICACION EN CALIENTE PARA DEMARCACION VIAL HORIZONTAL**

**MANUAL DE CARRETERAS**  
**VOLUMEN 8**  
**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**  
**CAPITULO 8.600 – SEGURIDAD VIAL**

**INTRODUCCION**

El Capítulo 8.600 Seguridad Vial contiene las exigencias a que debe ajustarse la señalización vial horizontal y describe los procedimientos que se han definido para determinar las propiedades de diferentes productos y materiales que se utilizan en este campo. Al igual que otros Capítulos de este Manual, éste se presenta dividido en dos partes: la primera contiene Especificaciones que establecen requisitos, en tanto que la segunda, incluye los procedimientos para realizar los ensayos propiamente tales.

Las Especificaciones incluyen las exigencias para el diseño de la señalización horizontal, tanto de los productos que ella requiere, como para el diseño de la misma.

Los procedimientos para ensayar los materiales son 30 Métodos, numerados correlativamente desde el 8.602.1 al 8.602.30, con las excepciones indicadas más abajo. La lista guarda un cierto ordenamiento y coherencia en función de propósitos, objetivos y otras formas de afinidad.

Un primer grupo de 19 Métodos (8.602.1 al 8.602.19) incluye los que se refieren fundamentalmente a los ensayos que se deben realizar para establecer las propiedades de las pinturas, materiales termoplásticos y otros que se utilizan en la demarcación horizontal de carreteras y caminos. Los ensayos permiten caracterizar los componentes de las pinturas, definir las propiedades que deben tener una vez colocadas en el camino y establecen procedimientos de muestreo y control de los productos que se utilizan. Otros 3 métodos incluidos al final (8.602.28 al 8.602.30) tienen estos mismos objetivos.

Un segundo grupo está constituido por 4 métodos (8.602.20 al 8.602.23) destinados a definir procedimientos para establecer las características y propiedades de las tachas reflectantes. Ellas son: reflectancia, color, y resistencias al desprendimiento y a la compresión.

Hay 4 Numerales que quedan en blanco (8.602.24 al 8.602.27), que en ediciones anteriores contemplaban procedimientos para definir la calidad de la textura superficial de un pavimento y los factores que de ella derivan (coeficiente de resistencia al deslizamiento) y que ahora se encuentran en el Capítulo 8.500 Auscultaciones y Prospecciones.



## CAPITULO 8.600 SEGURIDAD VIAL

### SECCION 8.601 ESPECIFICACIONES PARA SEGURIDAD VIAL

#### 8.601.1 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objeto y Campo de Aplicación.** Se especifican los requisitos de laboratorio y los métodos de ensaye para los materiales de marcado de carreteras.

#### 2.- Terminología.

**2.1 Pintura.** Producto líquido que contiene sólidos en suspensión en un disolvente orgánico o agua. Puede ser suministrado en forma mono o multi componente. Cuando se aplica mediante brocha, rodillo, pulverización o cualquier método apropiado, se forma un film cohesionado a través de un proceso de evaporación de disolvente y/o un proceso químico.

**2.2 Termoplástico.** Producto de marcado que no contiene disolvente, suministrado en forma de bloque, granulado o polvo. Se calienta hasta estado fundido y entonces se aplica mediante un sistema aplicador adecuado manual o mecánico. Se forma un film cohesionado por enfriamiento.

**2.3 Plástico en Frío.** Producto de marcado suministrado en forma mono o multi componente. Los componentes se mezclan en proporciones diferentes dependiendo del tipo de sistema y se aplican mediante procedimiento adecuado. Se forma un film cohesionado solo a través de un proceso químico.

**2.4 Material Preformado.** Material constituido por una parte mineral inorgánica y otra parte orgánica adecuadamente plastificada con formas y dimensiones definidas en el proceso de fabricación, las que se colocan sobre el pavimento mediante el empleo de algún producto adhesivo.

**2.5 Microesferas de Vidrio.** Pequeños elementos catadióptricos, que unidos al producto, permiten que la demarcación sea visible cuando es iluminada por las luces del vehículo.

**2.6 Tachas.** Dispositivos geométricos que poseen 1 o 2 capas oblicuas retrorreflectantes y que se colocan sobre el pavimento mediante el empleo de algún producto adhesivo con la finalidad de reforzar y/o complementar la demarcación vial.

#### 3.- Requisitos.

##### 3.1 Pintura.

**3.1.1 Factor de Luminancia.** Se indica en la Tabla 8.601.1.A para cada color y se mide de acuerdo al Método 8.602.8

**TABLA 8.601.1.A  
FACTOR DE LUMINANCIA**

COLOR	FACTOR DE LUMINANCIA $\beta$
Blanco	$\geq 0,8$
Amarillo	$\geq 0,4$

**3.1.2 Color.** Estará definido por las coordenadas cromáticas x, y del sistema normalizado CIE de acuerdo al Método 8.602.8 y cuyos vértices para cada color se indican en la Tabla 8.601.1.B.

**TABLA 8.601.1.B**  
**COORDENADAS CROMATICAS PARA PRODUCTOS DE MARCADO**  
**DE CARRETERAS BLANCOS Y AMARILLOS**

COLOR	COORDENADA	VERTICES			
		1	2	3	4
Blanco	x	0,355	0,305	0,285	0,335
	y	0,355	0,305	0,325	0,375
Amarillo	x	0,494	0,545	0,465	0,427
	y	0,427	0,455	0,535	0,483

**3.1.3 Poder Cubridor.** La razón de contraste (poder cubridor) de las pinturas blancas y amarillas no será inferior al 95% para el blanco, ni inferior al 90% para el amarillo, realizado de acuerdo al método 8.602.2.

**3.1.4 Estabilidad al Almacenamiento.** La pintura estará libre de pieles y sedimentos que no puedan reincorporarse mediante agitación. La pintura ensayada de acuerdo al método 8.602.1, Método A, tendrá una valoración igual o superior a 8. Además no se debe producir un aumento de la consistencia mayor a 5 UK, cuando se ensaya de acuerdo al método 8.602.1, Método B.

**3.1.5 Envejecimiento Artificial Acelerado.** Cuando la pintura se ensaya de acuerdo al método 8.602.11. La diferencia del factor de luminancia  $\Delta\beta$  (donde  $\Delta\beta =$  factor de luminancia original - factor de luminancia tras la exposición) será menor o igual a 0,05. Las coordenadas cromáticas se mantendrán dentro del espacio de color definido en la Tabla 8.601.1.B.

**3.1.6 Tiempo de Secado.** El tiempo de secado para pinturas debe ser menor o igual a 30 min, pero lo suficientemente alto de manera que permita sembrar las microesferas cuando sea necesario y que estas se puedan incorporar a la demarcación, al ser medido de acuerdo al método 8.602.19.

**3.1.7 Flexibilidad.** La flexibilidad se mide en base al método 8.602.12 y el agrietamiento visible no debe ser superior a 12 mm.

**3.1.8 Resistencia al Sangrado.** Cuando se ensaya de acuerdo con el método 8.602.6, la diferencia en el factor de luminancia  $\Delta\beta$  será menor o igual a 0,05. Las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del espacio de color x, y definido en la Tabla 8.601.1.B.

**3.1.9 Adherencia.** La Adherencia debe resistir como mínimo una fuerza de 1,96 MPa, cuando la pintura se ensaya de acuerdo al método 8.602.29, aplicando un espesor de película húmeda de 500  $\mu\text{m}$  sobre probeta normalizada.

**3.1.10 Ensayes de Homogeneidad.** Toda muestra tomada ya sea de envase o del estanque de aplicación no deben variar sus características respecto a lo ofrecido por el fabricante en más de las unidades que se indican en los siguientes ensayos:

**3.1.10.1 Consistencia Krebs.** Realizado según método 8.602.4, el coeficiente de variación (v) de las muestras ensayadas no será superior a  $\pm 10$  U.K.

**3.1.10.2 Contenidos en Sólidos.** Materia no volátil. Realizado el ensaye según Método 8.602.3, el coeficiente de variación (v) de las muestras ensayadas no será superior al 2 %.

**3.1.10.3 Densidad Relativa.** Realizado el ensaye según el Método 8.602.5, el coeficiente de variación (v) de las muestras ensayadas no será superior al  $\pm 2\%$  sin perlas incorporadas y  $\pm 4\%$  con perlas incorporadas.

**3.1.10.4 Poder Cubriente.** Realizado el ensaye según el Método 8.602.2, el coeficiente de variación (v) de las muestras ensayadas no será superior al  $\pm 0,01\%$ .

**3.1.10.5 Color** . Realizado el ensaye según el Método 8.602.8, las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido por la Tabla 8.601.1.B.

**3.1.10.6 Factor de Luminancia**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.8, el coeficiente de variación ( $v$ ) de las muestras ensayadas no será superior a  $\pm 0,02$ .

**3.1.10.7 Tiempo de Secado**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.19, el tiempo de secado deberá ser menor o igual a 30 minutos.

## 3.2 Termoplásticos.

**3.2.1 Color y Factor de Luminancia**. El factor luminancia deberá cumplir con los valores de la Tabla 8.601.1.A y el color debe estar dentro del polígono formado por las coordenadas cromáticas de la Tabla 8.601.1.B.

**3.2.2 Estabilidad al Calor**. Cuando se ensaya de acuerdo al método 8.602.10, el factor de luminancia no deberá variar en más de 0,05 respecto del valor original, y las coordenadas de color deberán mantenerse dentro del polígono de la Tabla 8.601.1.B.

**3.2.3 Envejecimiento Artificial Acelerado**. Cuando el material se ensaya de acuerdo al método 8.602.11. La diferencia de factor de luminancia  $\Delta\beta$  (donde  $\Delta\beta$  = factor de luminancia original – factor de luminancia tras la exposición) deberá ser menor a 0,05 y las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido en la Tabla 8.601.1.B.

**3.2.4 Resistencia al Flujo**. Cuando se ensaya de acuerdo al método 8.602.7 la resistencia al flujo deberá ser inferior al 20 % cuando es sometida a  $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.

**3.2.5 Temperatura de Inflamación**. Cuando se ensaya el termoplástico de acuerdo al método 8.602.9, el punto de inflamación deberá ser mayor que  $235^{\circ}\text{C}$ .

**3.2.6 Punto de Ablandamiento**. Cuando se ensaya de acuerdo al método 8.602.30 el punto de ablandamiento para zonas cálidas será mayor a  $95^{\circ}\text{C}$  y para zonas frías mayor a  $75^{\circ}\text{C}$ .

**Nota 1:** Se entenderá por zona cálida aquella cuya temperatura promedio anual sea igual o superior a  $15^{\circ}\text{C}$ , en caso contrario corresponderá a zona fría.

**3.2.7 Ensayes de Homogeneidad**. Toda muestra tomada ya sea de envase o del estanque de aplicación no deben variar sus características respecto a lo ofrecido por el fabricante en más de las unidades que se indican en los siguientes ensayos:

**3.2.7.1 Color**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.8, las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido por la Tabla 8.601.1.B.

**3.2.7.2 Factor de Luminancia**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.8, el coeficiente de variación ( $v$ ) de las muestras ensayadas no será superior a  $\pm 0,02$ .

**3.2.7.3 Envejecimiento Artificial Acelerado**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.11, las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido por la Tabla 8.601.1.B y el factor de luminancia no deberá variar respecto a la muestra original en más de 0,05.

**3.2.7.4 Estabilidad al Calor**. Realizado el ensaye según el Método 8.602.10, el coeficiente de variación ( $v$ ) de las muestras ensayadas no será superior a  $\pm 0,05$ .

## 3.3 Plásticos de Aplicación en Frío.

**3.3.1 Color y Factor de Luminancia**. El color estará definido por las coordenadas cromáticas  $x$ ,  $y$  del sistema normalizada CIE de acuerdo con el método 8.602.8 en cuya norma se indica la preparación de las probetas y su medición y cuyas coordenadas se indican en la Tabla 8.601.1.B. El factor de luminancia para cada color se indica en la Tabla 8.601.1.A.

**3.3.2 Envejecimiento Artificial Acelerado.** Cuando el material se ensaya de acuerdo al método 8.602.11, la diferencia del factor de luminancia  $\Delta\beta$  (donde  $\Delta\beta =$  factor de luminancia original- factor de luminancia tras la exposición) no será superior a 0,05. y las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido en la Tabla 8.601.1.B.

**3.3.3 Tiempo de Secado.** El recubrimiento se ensaya de acuerdo el método 8.602.19 y no será superior a 45 min.

**3.3.4 Ensayes de Homogeneidad.** La muestra no debe variar su composición respecto a lo ofrecido por el fabricante en más de las unidades que se indican.

**3.3.4.1 Densidad Relativa.** Realizado el ensaye según el Método 8.602.5, el coeficiente de variación ( $v$ ) de las muestras ensayadas no será superior a 2%.

**3.3.4.2 Color y Factor de Luminancia.** Realizado el ensaye según se indica en el Método 8.602.8 las coordenadas cromáticas estarán dentro del respectivo polígono de color especificado en la Tabla 8.601.1.B y el factor de luminancia no diferirá en más de dos centésimas (0,02) respecto a lo especificado.

**3.3.4.3 Tiempo de secado.** El recubrimiento se ensaya de acuerdo al método 8.602.19 y este no será superior a 45 min.

### 3.4 Material Preformado.

**3.4.1 Color y Factor de Luminancia.** El factor luminancia deberá cumplir con los valores de la Tabla 8.601.1.A y el color debe estar dentro del polígono formado por las coordenadas cromáticas de la Tabla 8.601.1.B.

**3.4.2 Envejecimiento Artificial Acelerado.** Cuando el material se ensaya de acuerdo al método 8.602.11, la diferencia del factor de luminancia  $\Delta\beta$  (donde  $\Delta\beta =$  factor de luminancia original- factor de luminancia tras la exposición) no será superior a 0,05. y las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido en la Tabla 8.601.1.B.

### 3.5 Microesferas de Vidrio.

**3.5.1 Índice de Refracción.** Cuando se ensayan las microesferas de acuerdo al método 8.602.15, el índice de refracción deberá ser mayor o igual a 1,5.

**3.5.2 Microesferas Defectuosas.** Cuando se ensayan las microesferas de acuerdo al método 8.602.13, el contenido de microesferas defectuosas deberá ser menor o igual a 20 %.

**3.5.3 Resistencia a los Agentes Químicos.** Las microesferas de vidrio ensayadas de acuerdo a la norma 8.602.14 no deben presentar defectos después de haber sido tratadas con agua, solución ácida 0,1N y solución 1N de cloruro cálcico.

**3.5.4 Granulometría.** Las microesferas de vidrio deberán cumplir con las especificaciones de la Tabla 8.601.1.C.

**TABLA 8.601.1.C  
GRANULOMETRIA MICROESFERAS DE VIDRIO**

MALLA N°	ABERTURA (µm)	PORCENTAJE QUE PASA * (ASTM D1214)		
		I %	II %	III %
20	850	-	100	98-100
30	600	-	80-100	75-95
50	300	100	20-50	9-35
70	212	90-100	-	-
140	106	10-55	0-10	0-5
200	75	-	0-2	-
230	63	0-10	-	-

Banda I: Para incorporar en pinturas previo a su aplicación.

Banda II: Para incorporar en el material termoplástico o sembrar en pinturas y plásticos en frío.

Banda III: Para sembrar en termoplásticos.

\*: Eventualmente se podrán aceptar microesferas de vidrio de granulometría diferente, propuesta previamente por el Contratista y aceptada por el Inspector Fiscal, a fin de mejorar la retrorreflectancia inicial y residual sin desmedro de su adherencia y durabilidad de la marca.

**TABLA 8.601.1.D  
GRANULOMETRIA DE LOS ELEMENTOS OPTICOS  
PARA REFLECTIVIDAD BAJO LLUVIA**

MALLA N°	ABERTURA (µm)	PORCENTAJE QUE PASA * (ASTM D1214)	
		Tipo A	Tipo B
12	1700	85-100	90-100
14	1410	50-75	70-90
16	1180	7-35	25-55
18	1000	0-12	0-20
20	850	0-5	0-12
25	710	-	-
30	600	-	0-5
40	425	-	-

**Tipo A:** Elementos recomendados para aplicaciones sobre todo tipo de pavimento, en especial aquéllos que presentan mayor macrotextura, como el doble tratamiento.

**Tipo B:** Elementos recomendados para pavimentos en buenas condiciones, con menor macrotextura, como los de mezcla asfáltica y hormigón.

\*: Previa aprobación del Inspector Fiscal, se podrán aceptar otras granulometrías que permitan desempeño igual o superior bajo lluvia continua.

**3.6 Tachas.** Las tachas deben ser de tipo reflector prismático. El área reflectante debe estar moldeada de material metil metacrilato o policarbonato. La base, debe ser plana sin desviaciones mayores que 1,3 mm.

**3.6.1 Resistencia a la Compresión.** La tacha ensayada de acuerdo con el Método 8.602.23 deberá soportar un peso de 2.727 kgf sin quebrarse o deformarse significativamente, entendiendo como deformación significativa 3,3 mm o más.

**3.6.2 Resistencia al Desprendimiento.** La tacha ensayada de acuerdo con el Método 8.602.22 deberá tener una resistencia al desprendimiento mayor o igual a 3,4 MPa (500 psi), si se realiza con el adhesivo especificado en el anexo A del Método 8.602.22.

**3.6.3 Color.** Cuando se mida de acuerdo con el Método 8.602.21, el color deberá caer dentro de las coordenadas cromáticas indicadas en la Tabla 8.601.1.E y mostrados en la Figura 8.601.1.A.

### 3.6.4 Dimensiones.

- \* Altura  $\leq 20,3$  mm
- \* Ancho  $\leq 130$  mm
- \* Angulo entre la cara de la marca y la base  $\leq 45^\circ$

**3.6.5 Resistencia a Flexión.** Tachas con largos y anchos mayores o iguales a 102 mm deben resistir 909 kgf sin deformación mayor que 3,3 mm, cuando se ensaya de acuerdo con el Método 8.602.23.

**3.6.6 Retrorreflectancia.** Para ángulo de entrada  $0^\circ$  y de observación  $0,2^\circ$ , para cada color se debe cumplir con los valores indicados en la Tabla 8.601.1.F.

**TABLA 8.601.1.E  
COORDENADAS CROMATICAS PARA TACHAS**

COLOR	COORDENADA	NUMERO DE VERTICES					
		1	2	3	4	5	6
Blanco	x	0,310	0,453	0,500	0,500	0,440	0,310
	y	0,348	0,440	0,440	0,380	0,380	0,283
Amarillo	x	0,545	0,559	0,609	0,597		
	y	0,424	0,439	0,390	0,390		
Rojo	x	0,650	0,668	0,734	0,721		
	y	0,330	0,330	0,265	0,259		
Azul	x	0,039	0,160	0,160	0,183	0,088	
	y	0,320	0,320	0,240	0,218	0,142	
Verde	x	0,009	0,288	0,209	0,012		
	y	0,733	0,520	0,395	0,494		

**TABLA 8.601.1.F  
RETORREFLECTANCIA MÍNIMA**

COLOR	RETORREFLECTANCIA (mcd/lx)
Blanco	279
Amarillo	167
Rojo	70
Verde	93
Azul	26

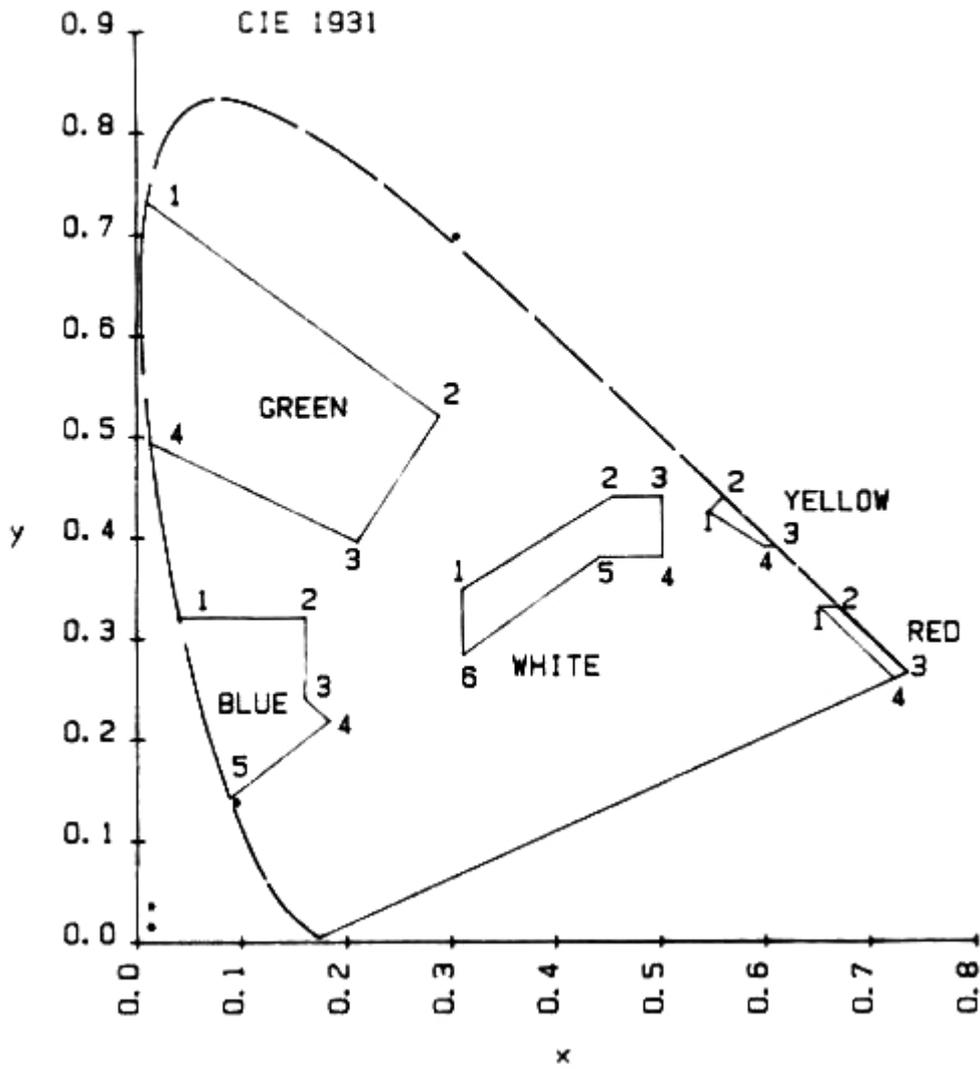


FIGURA 8.601.1.A

(Referencia: **ASTM D-4280-96** Specification for Extended Life Type, Nonplowowable, Prismatic, Raised, Retroreflective Pavement Markers)



## 8.601.2 SEGURIDAD VIAL: ESPECIFICACIONES DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objeto y Campo de Aplicación.** Se especifican los requisitos que debe cumplir una marca vial colocada sobre un pavimento

### 2.- Terminología.

**2.1 Retroreflectancia.** Propiedad de un material o elemento por la cual, cuando es directamente irradiado, refleja los rayos preferentemente en una dirección similar y contraria a la del rayo incidente. Esta propiedad se mantiene para una amplia gama de direcciones de los rayos incidentes.

**2.2 Demarcación. Línea,** símbolo o leyenda aplicada sobre la superficie de la calzada con fines informativos, preventivos o reguladores del tránsito.

**2.7 Relación de Contraste.** Relación entre el factor de luminancia de la demarcación aplicada sobre la calzada menos el factor de luminancia de la calzada dividido por el factor de luminancia de la calzada.

**2.8 Factor de Luminancia.** Relación entre la luminancia de un cuerpo y la de un difusor reflectante o transmisor perfecto, iluminado de la misma manera.

**2.9 Resistencia al Deslizamiento.** La fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

### 3.- Requisitos.

**3.1 Visibilidad Nocturna.** Se medirá mediante la retrorreflectancia, de acuerdo con el Método 8.602.17, debiendo cumplir con los requisitos indicados en las Tablas 8.601.2.A, 8.601.2.B y 8.601.2.C.

**TABLA 8.601.2.A  
RETROREFLECTANCIA INICIAL 30 DIAS**

GEOMETRIA	RETROREFLECTANCIA [mcd*(lx) <sup>-1</sup> *m <sup>2</sup> ]	
	Blanca	Amarilla
3,5 – 4,5	> 300	> 180
1,24 – 2,29	> 200	> 120

**TABLA 8.601.2.B  
RETROREFLECTANCIA 180 DIAS**

GEOMETRIA	RETROREFLECTANCIA [mcd*(lx) <sup>-1</sup> *m <sup>2</sup> ]	
	Blanca	Amarilla
3,5 – 4,5	> 230	-
1,24 – 2,29	> 150	-

**TABLA 8.601.2.C**  
**VALORES DE RETRORREFLECTANCIA PARA REPINTADO**

GEOMETRIA	RETRORREFLECTANCIA [mcd*(lx) <sup>-1</sup> *m <sup>-2</sup> ]	
	Blanca	Amarilla
3,5 – 4,5	> 120	> 95
1,24 – 2,29	> 90	> 70

Las pinturas con visibilidad nocturna bajo lluvia deberán cumplir además con lo dispuesto en la Tabla 8.601.2.D, cuyos valores se medirán de acuerdo con el procedimiento de la Norma ASTM-2176.

**TABLA 8.601.2.D**  
**VALORES DE RETRORREFLECTANCIA DE DEMARCAACION**  
**CON DESEMPEÑO EN CONDICIONES BAJO AGUA**

GEOMETRIA	RETRORREFLECTANCIA [mcd*(lx) <sup>-1</sup> *m <sup>-2</sup> ]		
	Medición	Blanca	Amarilla
1,24 – 2,29	30 días	> 120	> 90
	180 días	> 100	> 75

**3.2 Visibilidad Diurna.** Deberá cumplir requisitos de factor de luminancia, color y relación de contraste, cuando se mide de acuerdo a norma 8.602.16.

**3.2.1 Color.** Las coordenadas cromáticas se hallarán dentro del polígono de color definido en la Tabla 8.601.2.E

**TABLA 8.601.2.E**  
**COORDENADAS CROMATICAS PARA PRODUCTOS DE**  
**MARCADO DE CARRETERAS BLANCOS Y AMARILLOS**

COLOR	COORDENADA	VERTICES			
		1	2	3	4
Blanco	x	0,355	0,305	0,285	0,335
	y	0,355	0,305	0,325	0,375
Amarillo	x	0,494	0,545	0,465	0,427
	y	0,427	0,455	0,535	0,483

**3.2.2 El factor de luminancia (β),** debe cumplir los valores especificados en la Tabla 8.601.2.F.

**TABLA 8.601.2.F**  
**FACTOR DE LUMINANCIA (β)**

BLANCA	AMARILLA
≥ 0,4	≥ 0,2

**3.2.3 La relación de contraste (Rc),** debe ser > 1,7 para la pintura blanca.

$$Rc = \frac{\beta \text{ muestra} - \beta \text{ pavimento}}{\beta \text{ pavimento}}$$

**3.3 Resistencia al deslizamiento.** Cuando se mide de acuerdo con el Método 8.502.16, el valor obtenido debe ser informado a la Dirección de Vialidad.

## SECCION 8.602 METODOS PARA SEGURIDAD VIAL

### 8.602.1 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO EN ENVASE DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

#### 1.- Alcance y Campo de Aplicación.

**1.1** Se establecen dos Métodos para Determinar la Estabilidad de Pinturas de Tránsito. El primer método, cualitativo, denominado método A, consiste en la evaluación del grado de sedimentación de una muestra previamente acondicionada por el equivalente a 12 meses de almacenamiento normal. El segundo método, cuantitativo, llamado método B, consiste en mediciones de viscosidad de una muestra antes y después de ser sometida a 60°C durante 18 horas.

**1.2** Esta norma se aplica a pinturas de tránsito.

#### 2.- Referencias.

- Nch 2156.Of89. "Pinturas de tránsito- determinación de la estabilidad".
- UNE-083-92. "Pinturas y Barnices. Conservación y estabilidad en el envase".
- Método 8.602.4: "Seguridad vial: Método para determinar la Consistencia (Viscosidad) de pinturas de señalización horizontal".

**3.- Resumen de los Métodos.** El método A se basa en efectuar, durante dos semanas, un envejecimiento acelerado de la muestra con ciclos de frío/calor, simulando de esta manera un período de 12 meses de almacenamiento normal, y en evaluar el grado de suspensión del pigmento y su facilidad para volver a mezclarse hasta una condición homogénea adecuada al uso final del producto.

El método B consiste en mediciones de viscosidad en una muestra de pintura antes y después de ser sometida a 60° C durante 18 horas.

#### 4.- Método A . Cualitativo, grado de sedimentación.

##### 4.1 Aparatos.

- a) Recipiente de 500 ml de capacidad, provisto de tapa hermética, de  $85,5 \pm 1,5$  mm de diámetro y  $98,5 \pm 1,5$  mm de altura.
- b) Espátula, de hoja de punta cuadrada, de 125mm de largo y aproximadamente 20 mm de ancho y que pese  $45 \pm 1$ g.

**Nota 1:** Se puede obtener una espátula adecuada cortando al largo especificado la punta de una espátula común de laboratorio de acero flexible.

- c) Congelador, capaz de mantener una temperatura entre  $-21$  y  $-23,3^{\circ}\text{C}$ .
- d) Estufa, capaz de mantener una temperatura de  $71 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

##### 4.2 Procedimiento.

**4.2.1** Mezcle completamente la muestra hasta obtener una consistencia homogénea y transfiera una cantidad suficiente al recipiente de 500 ml (4.1a) de manera que éste quede lleno hasta 13 mm de su borde superior.

**4.2.2** Cierre herméticamente el recipiente y sométalo al siguiente ciclo de exposición de temperatura.

- a) De lunes a viernes
- Colocar en el congelador a las 8:00 h, a una temperatura entre  $-21$  y  $-23,3^{\circ}\text{C}$
  - Transferir a la estufa a las 10:00 h, a una temperatura de  $71 \pm 1^{\circ}\text{C}$
  - Transferir al congelador a las 14:00 h, a una temperatura de  $-21$  y  $-23,3^{\circ}\text{C}$
  - Transferir a la estufa a las 16:00 h, a una temperatura de  $71 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- b) De viernes a las 16:00 h a lunes a las 8:00 h
- Mantener la muestra en la estufa desde las 16:00 h del día viernes hasta las 8:00 h del día lunes, continuando posteriormente con los ciclos descritos en (a) y (b) por otros 7 días.

**4.2.3** Cada vez que el recipiente con pintura sea sacado de la estufa, darle un golpe brusco sobre la superficie de la mesa. El golpe debe consistir en una sacudida corta y rápida del fondo del recipiente con pintura sobre la superficie de la mesa y la violencia de la misma debe ser tal que si el fondo del recipiente fuera golpeado sobre la plataforma de una balanza, ésta registraría aproximadamente una masa de 2,27 kg.

**4.2.4** Al terminar el período de 14 días de exposición, dejar enfriar la pintura durante 4 h a temperatura ambiente.

**4.2.5** Abrir el recipiente en forma lenta y cuidadosa de manera de permitir la salida de la presión de vapor residual.

### 4.3 Evaluación del Grado de Sedimentación.

**4.3.1** Examinar la muestra sin remover el vehículo sobrenadante, usando la espátula 4.1 b) para determinar el grado y el carácter de las porciones de pintura que pudieren haberse separado durante el procedimiento.

**4.3.2** Mantener la espátula en forma perpendicular sobre el centro del área del recipiente, a una altura a la cual queden nivelados el extremo inferior de la espátula con la parte superior del recipiente. Bajar la espátula desde esta posición.

**4.3.3.** Determinar el grado de sedimentación de la muestra, de acuerdo a lo que se indica en 4.3.4.

**4.3.4** El grado de sedimentación se clasifica en una escala de 0 a 10, en función de las condiciones que demuestre la pintura, según se indica en la siguiente tabla. En el caso de que la evaluación de una muestra se encuentre en una situación intermedia a las señaladas, darle el número impar correspondiente.

**TABLA 8.602.1.A**  
**CLASIFICACION DEL GRADO DE SEDIMENTACION**

VALOR DE ESCALA	DESCRIPCION DE LA CONDICION DE LA PINTURA
10	Suspensión perfecta. No existen cambios en la condición natural de la pintura.
8	En la espátula se nota una sensación definida de sedimentación y un leve depósito. No se produce resistencia significativa al movimiento perpendicular al plano de la espátula.
6	Se forma una masa compacta definida de pigmento sedimentado. La espátula desciende a través de la masa hasta el fondo por su propio peso. Se produce resistencia definida al movimiento perpendicular al plano de la espátula. Se pueden extraer porciones coherentes con la espátula.
4	La espátula no desciende al fondo del recipiente por su propio peso. Hay dificultad para mover la espátula a través de la masa compacta en forma perpendicular a su plano y una leve resistencia para moverla hacia los lados. La pintura puede ser remezclada fácilmente hasta un estado homogéneo.
2	Al forzar la espátula a través de la capa sedimentada es muy difícil moverla en forma perpendicular a su plano. Se produce resistencia definida al movimiento lateral de la espátula. La pintura puede ser remezclada hasta un estado homogéneo.
0	Se produce una masa compacta muy firme que no puede reincorporarse con el líquido para formar una pintura homogénea al agitarse manualmente.

**4.4 Resultados.** Expresar la estabilidad de la muestra como un número en la escala de 0 a 10 indicada en párrafo 4.3.4.

**4.5 Informe.** El informe debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Valor obtenido.
- c) Fecha de ensaye.
- d) Observaciones.

**5.- Método B .** Cuantitativo, variación de viscosidad.

**5.1 Aparatos.**

- a) Envases cilíndricos para pinturas. De cierre hermético a presión, de 500ml de capacidad, de 100 mm de diámetro y 98,5 mm  $\pm$  1,5 mm de altura.
- b) Estufa. Capaz de mantener la temperatura a 60°C, con una tolerancia de 1°C.
- c) Espátula. Con hoja de acero inoxidable de unos 125 mm de longitud y 20 mm de ancho con un peso total de 45 g  $\pm$  1 g y con extremo recto y aproximadamente normal a la dirección mayor.
- d) Viscosímetro Stormer. Según norma 8.602.4 "Seguridad vial: Método para determinar la Consistencia (Viscosidad) de pinturas de señalización horizontal".

**5.2 Acondicionamiento de la Muestra.** Se toma un envase original del producto a ensayar, siendo preferible que su capacidad se encuentre entre 500 ml y 1000 ml, y se acondiciona a 23 $\pm$ 2°C durante 24 horas.

**5.3 Procedimiento.** Estabilidad en el envase lleno.

- a) Se toma un envase de 500 ml de capacidad acondicionado como se indica en 5.2 y se pesa con precisión de 1 g.
- b) Con el fin de asegurarse una perfecta homogeneización previa, se agita el producto con la espátula, realizando unos 150 movimientos por minuto, aproximadamente circulares, hasta conseguir una perfecta homogeneización.
- c) Se determina la viscosidad inicial o consistencia a 25 °C, mediante el método Krebs-Stormer, según método 8.602.4 "Seguridad vial: Método para determinar la Consistencia (Viscosidad) de pinturas de señalización horizontal".
- d) Se somete el envase al periodo de almacenamiento de 18 horas en una estufa a 60°C, evitando cualquier tipo de agitación.
- e) Una vez finalizado el periodo de almacenamiento, se acondiciona el envase a 23 $\pm$ 2°C, durante 2 horas y se pesa con precisión de 1g, para comprobar las posibles pérdidas de contenido durante el almacenamiento. Registrándose las siguientes observaciones, aparición de pieles, sedimentos, coágulos, pellejos, aumento de consistencia, corrosión del envase, presencia de colonias de hongos, olores anormales y la facilidad o dificultad para homogeneizar el producto.
- f) Se determina la viscosidad final a 25 °C, mediante el método Krebs-Stormer, según método 8.602.4 "Seguridad Vial: Método para determinar la Consistencia (Viscosidad) de pinturas de señalización horizontal".

**5.4 Resultados.** El informe debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Valor inicial de la viscosidad.
- c) Valor final de la viscosidad una vez terminadas las 18 horas y 60°C.
- d) Variación de viscosidad
- e) Variación de peso.
- f) Fecha de ensaye.
- g) Observaciones.



## **8.602.2 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL PODER CUBRIDOR EN PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Se establece un método cualitativo y un método cuantitativo para determinar el poder cubridor de pinturas de tránsito.

### **2.- Referencias.**

- Nch 2159.Of.91. "Pinturas de tránsito- Determinación del poder cubridor"
- Método 8.602.8 " Método para Determinar el Color y Factor de Luminancia de los Productos de Señalización Vial Horizontal".

### **3.- Resumen del Método.**

**3.1** El método cualitativo se basa en determinar la capacidad de una película de pintura de ocultar el contraste entre los cuadrados blancos y negros de una superficie de ensaye normalizada, a la cual se ha aplicado en forma uniforme.

**3.2** El método cuantitativo se basa en determinar el factor de luminancia de la película de pintura sobre superficie negra y sobre una superficie blanca, y en base a los resultados obtenidos calcular la razón de contraste.

**4.- Terminología. Razón de Contraste:** Relación entre el cociente del factor de luminancia de una película de pintura aplicada sobre un sustrato negro y el factor de luminancia de la misma película aplicada sobre un sustrato blanco.

### **5.- Aparatos.**

**5.1 Superficie de Ensaye.** Cartulina de superficie lisa, de 100 mm x 200 mm, con áreas blancas y negras alternadas. La reflectancia mínima de las áreas blancas debe ser de 75% y la reflectancia máxima de las áreas negras debe ser de 1%.

**5.2 Aplicador de Película.**

**5.3 Láminas.** Transparentes o de vidrio plano y pulido por ambas caras.

**5.4 Equipo.** Para medir el factor de luminancia, empleando como observador Patrón 2°, una geometría 45°/° y el iluminante patrón CIED-65.

### **6.- Preparación de la Muestra.**

**6.1** Homogeneizar la muestra, agitándola completamente.

**6.2** Aplicar una película uniforme de la muestra de ensaye sobre láminas transparentes o de vidrio desengrasado, de modo de obtener un espesor de película húmeda de 500  $\mu$  m. Dejar secar durante 48 horas a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa, manteniendo la lámina en posición horizontal.

## 7.- Procedimiento.

### 7.1 Método Cualitativo.

- a) Colocar la lámina de ensaye, con la película hacia abajo sobre la cartulina de ensaye (véase 5.1), de tal manera que cubra el mayor número de áreas blancas y negras.
- b) Observar la superficie pintada desde una distancia de 1,5 a 3 m y en forma perpendicular a la probeta, utilizando iluminación natural indirecta o una fuente de luz difusa.
- c) Verificar si es posible distinguir contraste entre las áreas blancas y negras.

### 7.2 Método Cuantitativo.

- a) Efectuar la lectura de factor de luminancia en la lámina de ensaye sobre un área negra de la cartulina de ensaye, utilizando el Método 8.602.8 Seguridad Vial: Método para determinar el color y factor de luminancia de pinturas de señalización horizontal.
- b) Repetir el procedimiento indicado en párrafo 7.2 (a) sobre un área blanca.

## 8.- Resultados.

### 8.1 Método Cualitativo.

- a) Considerar que la muestra cumple el ensaye, si la película de pintura oculta completamente el contraste entre las áreas blancas y negras de la cartulina de ensaye.

### 8.2 Método Cuantitativo.

- a) Calcular la razón de contraste de la muestra, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\text{Razón de contraste} = \frac{\text{Factor de luminancia sobre sustrato negro}}{\text{Factor de luminancia sobre sustrato blanco}}$$

- b) Expresar el valor obtenido en 8.2 (a) como la razón de contraste de la muestra.

## 9.- Informe. En el informe se debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Método empleado.
- c) Resultado del ensaye.
- d) Fecha del ensaye.
- e) Observaciones.

### 8.602.3 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA MATERIA NO VOLATIL EN MASA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

1.- **Alcance.** Se establecen dos métodos para determinar el contenido de materias no volátiles en masa, en pinturas y barnices: Método A: 3 h a 105°C y Método B: 10 min a 149°C.

#### 2.- Referencia.

- NCh 2152.Of89. Pinturas- Determinación del contenido de materias no volátiles en masa.

3.- **Resumen del Método.** Los métodos se basan en determinar el contenido de materias no volátiles, luego de evaporar las materias volátiles mediante calentamiento en una estufa o en una placa calefactora durante un tiempo y una temperatura determinados.

#### 4.- Método A: 3 h a 105 ± 2°C.

##### 4.1 Aparatos.

- Balanza analítica. Con sensibilidad 0,1 mg.
- Dispositivo de transferencia de la muestra. Que puede ser uno de los siguientes: botellas con tapa, pipeta para pesar, o jeringa sin aguja de 10 ml de capacidad.
- Recipiente de metal o vidrio con fondo plano. De 80 a 100 mm de diámetro y 5 a 10 mm de profundidad.
- Estufa con sistema de ventilación. Regulable a 105 ± 2 °C.
- Alambre resistente.
- Desecador.

##### 4.2 Procedimiento.

4.2.1 Mezclar completamente una porción de muestra en una botella provista de tapa, o en una pipeta de pesar, o en una jeringa de 10 ml y desde ésta, por diferencia de masa, obtener una muestra de masa = 1,2 ± 0,1 g en el recipiente indicado en 4.1c el cual ha sido secado y tarado previamente.

**Nota 1:** Los recipientes tarados no deben mostrar cambios de masa mensurables al ser sometidos vacíos al mismo tratamiento de calor que se indica para el recipiente con la muestra. Si esta condición no se cumple, buscar recipientes más adecuados o efectuar las correcciones necesarias.

4.2.2 Mediante un movimiento rotatorio suave, espaciar cuidadosamente la muestra sobre el fondo del recipiente y calentar en la estufa 4.1d a 105 ± 2 °C durante 3 h. Si es necesario, colocar un alambre resistente en la tara o peso del recipiente, con el objeto de romper la posible formación de costras mediante agitación ocasional durante el período de calentamiento.

4.2.3 Enfriar el recipiente en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.

4.2.4 Efectuar la determinación en triplicado. La diferencia entre los valores individuales de los tres resultados no debe ser mayor de 1%.

##### 4.3 Resultados.

- Calcular el contenido de materias no volátiles presente en la muestra en porcentaje, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$M = \frac{C - a}{s} \times 100$$

donde:

- M : Contenido de materias no volátiles, % en masa;
- a : Masa, g, del recipiente;
- s : Masa, g, de la muestra; y
- C : Masa, g, del recipiente y su contenido al finalizar el período de calentamiento.

b) El valor de M obtenido debe aproximarse al 0,1%.

## 5.- Método B: 10 min a 149°C.

### 5.1 Aparatos.

- a) Balanza analítica. Con sensibilidad de 0,1 mg.
- b) Dispositivo para transferencia de la muestra. Como ejemplo una jeringa sin aguja de 2 a 5 ml de capacidad.
- c) Recipientes metálicos. Que aseguren un buen contacto del fondo con la placa calefactora.
- d) Placa calefactora. Regulable a  $149 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$ .
- e) Desecador.

### 5.2 Reactivos. Tolueno.

### 5.3 Procedimiento.

- a) Pesar por diferencia de masa, desde el dispositivo o jeringa a un recipiente previamente tarado o pesado, una cantidad de muestra suficiente para obtener un residuo de materia no volátil de 65 a  $125 \mu\text{m}$  de espesor, (ver anexo A).
- b) Usar una cantidad mínima de tolueno para distribuir uniformemente la muestra sobre el fondo del recipiente, mediante una agitación suave y uniforme.
- c) Colocar el recipiente sobre la placa calefactora a  $149 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$  durante 10 min. Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.
- d) Efectuar la determinación en triplicado. La diferencia entre los valores individuales de los tres resultados no debe ser mayor de 1%.

### 5.4 Resultados.

- a) Calcular el contenido de materias no volátiles presente en la muestra, %, de acuerdo a lo que se indica en párrafo 4.3 a) de esta norma.

## 6.- Informe. El informe debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Método empleado.
- c) Resultado obtenido, con aproximación de 0,1%.
- d) Fecha del ensaye.
- e) Observaciones.

### ANEXO A

Los límites para el tamaño de la muestra a usar en el Método B se pueden estimar según la tabla siguiente, la cual ha sido calculada para un producto que contenga materias no volátiles con un peso específico de 1,2.

**TABLA 8.602.3.A**  
**LIMITES PARA EL TAMAÑO DE MUESTRA EN EL METODO B**

DIAMETRO DEL RECIPIENTE	45 mm	100 mm
	MASA DEL RESIDUO NO VOLATIL	
Película de pintura de 65 $\mu$ m	0,1266 g	0,5985 g
Película de pintura de 125 $\mu$ m	0,2533 g	0,1970 g



## 8.602.4 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA (VISCOSIDAD) DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Se establece el método de Krebs para determinar la viscosidad de las pinturas utilizando el viscosímetro Stormer.

Esta norma se aplica a pinturas, barnices y productos similares.

**2.- Referencia.**

NCh 1003.Of89. "Determinación de la viscosidad mediante viscosímetro Stormer".

**3.- Definiciones.**

**3.1 Viscosidad (consistencia).** Carga en gramos, necesaria para producir una velocidad de rotación específica.

**3.2 Unidad Krebs (UK).** Valor de la escala usada comúnmente para expresar la viscosidad de las pinturas que se aplican generalmente con brocha o con rodillo. Esta escala es una función logarítmica de la escala obtenida a partir de la carga necesaria para producir una velocidad de rotación de 200 r.p.m.

**4.- Resumen del Método.** Este método se basa en determinar la carga de pintura necesaria para producir una velocidad de 200 r.p.m. en un motor de paleta sumergido en el producto.

**5.- Aparatos.**

**5.1 Viscosímetro Stormer.** Con motor del tipo paleta y un estroboscopio según se indica en láminas 8.602.4.A y 8.602.4.B. El instrumento puede usarse sin el estroboscopio, pero esto implica una velocidad y exactitud menores. El contador estroboscópico entrega una lectura directa de 200 r.p.m.

**5.2 Recipiente.** De 500 ml de capacidad y de 85 mm de diámetro.

**5.3 Termómetro.** Con escala de 20° a 70° y graduado cada 0,2°C.

**5.4 Cronómetro.** Capaz de medir hasta 0,2 s.

**5.5 Juego de Pesas.** Que cubren el rango entre 5 y 1000 g.

**6.- Reactivos.**

**6.1 Dos Aceites Patrones.** Calibrados con respecto a su viscosidad absoluta y que estén en el rango de viscosidad de la muestra. Estos aceites deben tener una diferencia mínima de viscosidad de 0,5 Pa·s (Nota 1).

**Nota 1:** El rango normal del viscosímetro Stormer es cubierto por aceites que tengan viscosidad de 0,4 Pa·s (70 UK), 1 Pa·s (85 UK) y 1,4 Pa·s (95 UK).

**Nota 2:** 1 Pa·s, equivale a 10 P

**6.1.1** Como aceites patrones, son apropiados los aceites de silicona, hidrocarburo, semilla de linaza y de castor. Estos aceites pueden ser calibrados con cualquier aparato que mida la viscosidad absoluta.

**6.1.2** Asígnele a cada aceite un valor de carga necesaria para producir 200 r.p.m convirtiendo sus valores de viscosidad en Pa·s, a la carga en gramos, mediante la siguiente formula:

$$C = \frac{61 \eta + 906,6 \rho}{30}$$

donde:

- C : Carga del aceite, gramos, necesaria para producir 200 r.p.m.  
 $\eta$  : Viscosidad del aceite, Pa-s  
 $\rho$  : Densidad del aceite, g/ml.

## 7.- Calibración del Aparato.

**7.1** Saque del Viscosímetro el Rotor y el Portapesas. Asegúrese que la cuerda esté enrollada en forma pareja al carrete y no se sobreponga a si misma.

**7.2** Coloque en la Cuerda una Masa de 5 g y Soltar el Freno. El viscosímetro puede usarse satisfactoriamente si inicia la carrera desde este punto muerto y continua haciéndolo por varias revoluciones del carrete. Si el instrumento no es capaz de iniciar la carrera sin ayuda al agregar la masa de 5 g, debe ser reacondicionado antes de su uso.

**7.3** Revise que las dimensiones del rotor tipo paleta estén dentro de  $\pm 0,01$  cm de las dimensiones indicadas en la figura 2.

**7.4** Seleccione dos aceites patrones que tenga valores de carga para producir 200 r.p.m dentro del rango de los valores esperados para la muestra, (ver 6.1).

**7.5** Determine la carga en gramos necesaria para producir 200 r.p.m. con cada uno de los aceites, usando el Procedimiento A (8) o el Procedimiento B (10).

**7.6** Ajuste la temperatura de los aceites patrones y del aparato a  $25 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Si no se puede obtener la temperatura especificada, registre la temperatura del aceite, con una aproximación de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , al comienzo y al final del ensaye.

**7.7** Si la temperatura del aceite durante el ensaye fue diferente a  $25 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , hacer la corrección de la carga en gramos medida a la temperatura correspondiente.

**Nota 3:** Las correcciones de la carga para temperaturas diferentes a la especificada pueden efectuarse a través de una curva establecida previamente de Carga versus Temperatura del aceite ( ver anexo).

**7.8** El aparato Stormer está calibrado en forma satisfactoria si la carga medida, corregida si es necesario con respecto a la temperatura, cae dentro de un rango de  $\pm 15$  % de los valores de carga asignados a los aceites.

## 8.- Preparación de la Muestra.

**8.1** Homogeneice completamente la muestra y vacíela en el recipiente de 500ml (5.2), llenando este hasta 20mm del borde.

**8.2** Lleve la muestra a una temperatura de  $25 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  y manténgala a dicha temperatura durante el ensaye. La temperatura del aparato Stormer debe ser la misma. Si no puede obtenerse la temperatura especificada, registre la temperatura de la muestra, con una aproximación de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , al comienzo y al final del ensaye.

**8.3** Cuando se ha alcanzado la temperatura del equilibrio de la muestra, agítela vigorosamente teniendo cuidado de evitar la oclusión de aire y coloque inmediatamente el recipiente en la plataforma del viscosímetro de manera tal que el rotor tipo paleta quede sumergido en el material hasta la marca indicada en el eje del rotor.

## 9.- Procedimiento A sin Estroboscopio.

**9.1** Coloque las pesas en el soporte del viscosímetro y determine la carga que produce 100 revoluciones en el rango de 25 a 35 s.

**9.2** A partir del valor obtenido en párrafo 8.1 seleccione dos cargas que den dos lecturas diferentes (tiempo necesario para dar 100 revoluciones) dentro del rango de 27 a 33 s. Empiece a contar el tiempo después de que el rotor haya dado por lo menos 10 revoluciones.

**9.3** Repita la mediciones indicadas en el párrafo anterior, hasta que se obtengan como mínimo dos lecturas para cada carga que estén en un rango de 0,5 s.

## 10.- Procedimiento B con Estroboscopio.

**10.1** Conecte el circuito de la lámpara a un circuito de corriente alterna correspondiente al voltaje señalado por el fabricante.

**10.2** Coloque pesas en el soporte del viscosímetro y determine la carga que producen 100 revoluciones en el rango de 25 a 35 s.

**10.3** A partir del valor obtenido en el párrafo anterior, seleccione con una aproximación de 5 g, un peso necesario para producir 200 r.p.m en el contador estroboscópico, punto en el cual las líneas parecen estar estacionarias, (ver figura 1). En el caso que las líneas se muevan en la dirección de las paletas, la velocidad es mayor a 200 r.p.m., debiendo entonces quitarse pesas del soporte. En forma inversa, cuando las líneas se muevan en dirección opuesta a la rotación de las paletas, la velocidad es menor que 200 r.p.m. debiendo entonces agregar pesos al soporte.

**Nota 4:** Existen otros tipos de líneas que pueden aparecer a velocidades diferentes de 200 r.p.m. ( ver figura 2); las líneas auténticas deben determinarse en un ensaye previo.

**10.4** Repita las determinaciones indicadas en el párrafo 10.3 hasta obtener valores de carga dentro del rango de 5 g.

## 11.- Resultados

### 11.1 Procedimiento A

**11.1.1** Calcule, con la aproximación de 5g, la carga necesaria para producir 100 revoluciones en 30s, mediante la interpolación de los valores de carga necesarios para producir 100 revoluciones entre 27 y 33 s. Registrados en el párrafo 9.3.

**11.1.2** Corrija el valor obtenido si la temperatura de la muestra fue diferente a la especificada ( ver anexo A).

**11.1.3** A partir de la Tabla 8.602.4.A, determine las unidades Krebs correspondientes a la carga necesaria para producir 100 revoluciones en 30 s obtenida en el punto anterior.

**Nota 5:** La Tabla 1 Krebs-Stomer, ha sido construida de manera tal que no es necesaria la interpolación entre cargas para obtener los valores de UK correspondientes a la carga necesaria para producir 100 revoluciones en 30 s. La Tabla 8.602.4.A, entrega los valores de UK para el rango de 100 revoluciones en 27 a 33 s.

**TABLA 8.602.4.A**  
**TABLA KREBS-STOMER**

Carga (g)	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500
Tiempo (s)																		
27	49	57	63	69	74	79	83	86	89	92	95	97	100	102	104	106	109	111
28	51	59	65	70	75	80	84	87	90	93	96	98	100	102	105	107	110	112
29	53	60	66	71	76	81	85	88	91	94	97	99	101	103	105	107	110	112
30	54	61	67	72	77	82	86	89	92	95	98	100	102	104	106	108	110	112
31	55	62	68	73	78	82	86	90	93	95	98	100	102	104	106	108	111	113
32	56	63	69	74	79	83	87	90	93	96	99	101	103	105	107	109	111	113
33	57	64	70	75	80	84	88	91	94	96	99	101	103	105	107	109	112	114

Carga (g)	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	950	1000
Tiempo (s)																		
27	113	114	116	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	136	138
28	114	115	117	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	137	139
29	114	115	117	119	121	122	124	125	127	128	130	131	132	133	134	135	137	139
30	114	116	118	120	121	122	124	125	127	128	130	131	133	134	135	136	138	140
31	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140
32	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140
33	116	117	119	121	122	123	125	126	128	129	131	132	134	135	136	137	139	141

**11.2 Procedimiento B.**

A partir de la Tabla 8.604.4.B, determinar las unidades Krebs correspondientes a la carga necesaria para producir 200 r.p.m.

**TABLA 8.602.4.B**  
**UNIDADES KREBS CORRESPONDIENTES A LA CARGA NECESARIA PARA PRODUCIR UNA ROTACION DE 200 RPM (PARA USAR CON CONTADOR ESTROBOSCOPICO)**

g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK	g	UK		
		100	61	200	82	300	95	400	104	500	112	600	120	700	125	800	131	900	136	1000	140
		105	62	205	83																
		110	63	210	83	310	96	410	105	510	113	610	120	710	126	810	132	910	136	1010	140
		115	64	215	84																
		120	65	220	85	320	97	420	106	520	114	620	121	720	126	820	132	920	137	1020	140
		125	67	225	86																
		130	68	230	86	330	98	430	106	530	114	630	121	730	127	830	133	930	137	1030	140
		135	69	235	87																
		140	70	240	88	340	99	440	107	540	115	640	122	740	127	840	133	940	138	1040	140
		145	71	245	88																
		150	72	250	89	350	100	450	108	550	116	650	122	750	128	850	134	950	138	1050	141
		155	73	255	90																
		160	74	260	90	360	101	460	109	560	117	660	123	760	129	860	134	960	138	1060	141
		165	75	265	91																
70	53	170	76	270	91	370	102	470	110	570	118	670	123	770	129	870	135	970	139	1070	141
75	54	175	77	275	92																
80	55	180	78	280	93	380	102	480	110	580	118	680	124	780	130	880	135	980	139	1080	141
85	57	185	79	285	93																
90	58	190	80	290	94	390	103	490	111	590	119	690	124	790	131	890	136	990	140	1090	141
95	60	195	81	295	94																

**12.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Carga en g, que produce 200 r.p.m. (100 revoluciones en 30 s).
- c) Unidades Krebs calculadas.
- d) Temperatura de la muestra durante el ensaye y si se ha aplicado alguna corrección para cualquier variación de la temperatura de 25°C.
- e) Método empleado.
- f) Fecha del ensaye.
- g) Observaciones.

**13.- Precisión.**

**13.1 Repetibilidad.** La diferencia entre dos resultados obtenidos sobre la misma muestra por un mismo operador, en diferentes tiempos, no debe ser superior a 9% en gramos de carga ó 4,5% en UK, de su valor promedio.

**13.2 Reproducibilidad.** La diferencia entre dos resultados, cada uno de ellos promedio de 4 mediciones sobre la misma muestra, obtenidos por operadores de diferentes laboratorios, no debe ser superior a 30% en gramos de carga ó 12% en UK, de su valor promedio.

## ANEXO

### ANEXO A. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA MUESTRA SOBRE LA VISCOSIDAD STORMER.

**A.1.** Para que la determinación del efecto de la temperatura de la muestra sobre la viscosidad Stormer tenga máxima exactitud, las mediciones deben efectuarse a 3 temperaturas diferentes de la muestra que cubran el rango de interés. La variación de la carga o de las unidades Krebs por cada variación de 1°C se determina a partir de estos resultados.

**A.2.** Se ha observado que la viscosidad de un aceite es mucho más sensible a la temperatura que la viscosidad de una pintura.

**A.3.** En la tabla siguiente se indican algunos efectos típicos de la temperatura sobre la viscosidad de aceites y pinturas.

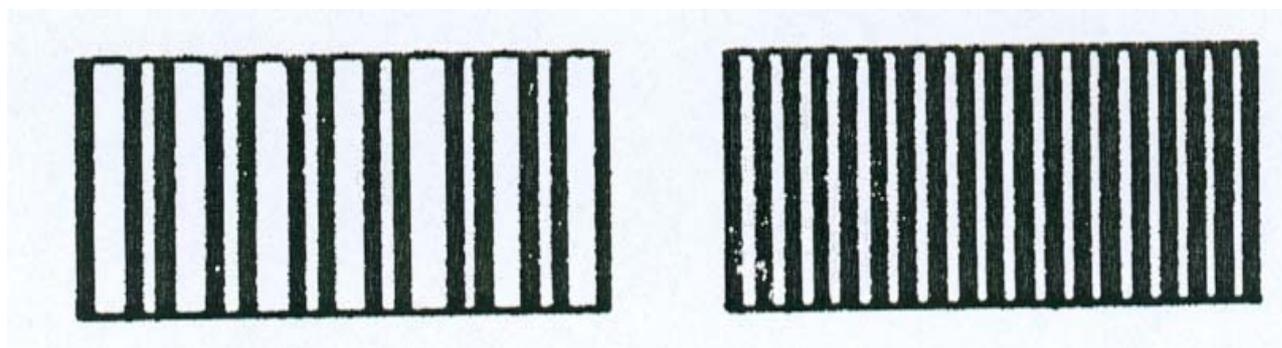
**TABLA 8.602.4.C**  
**EFFECTOS TÍPICOS DE LA TEMPERATURA**  
**SOBRE LA VISCOSIDAD DE ACEITES Y PINTURAS**

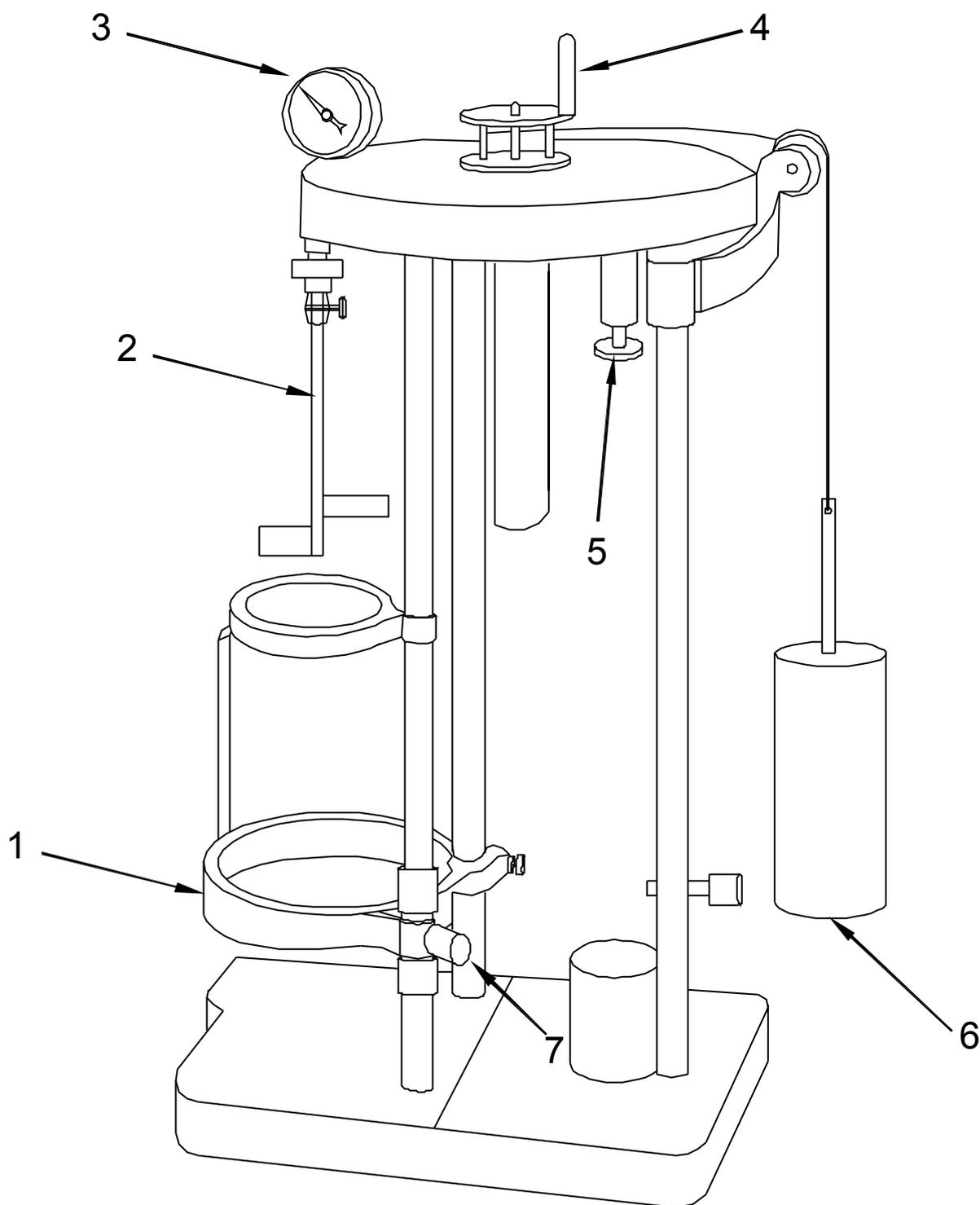
	Valor promedio a 25°C		Variación por cada 1°C	
	Carga, g	Valor UK	Carga, g	Valor UK
Aceite de hidrocarburo N° 1	149	72	14	2,5
Aceite de hidrocarburo N° 2	217	85	18	2,0
Aceite de hidrocarburo N° 3	286	93	11	1,5
Aceite de linaza	195	81	8	1,0
Aceite linaza pesado	440	108	40	2,0
Pintura exterior en base acuosa	300	95	4	0,5
Pintura exterior en base acuosa	425	105	4	0,5

**Figura 1. Abertura de líneas del estroboscopio cuando el contador está ajustado exactamente a 200 r.p.m.**

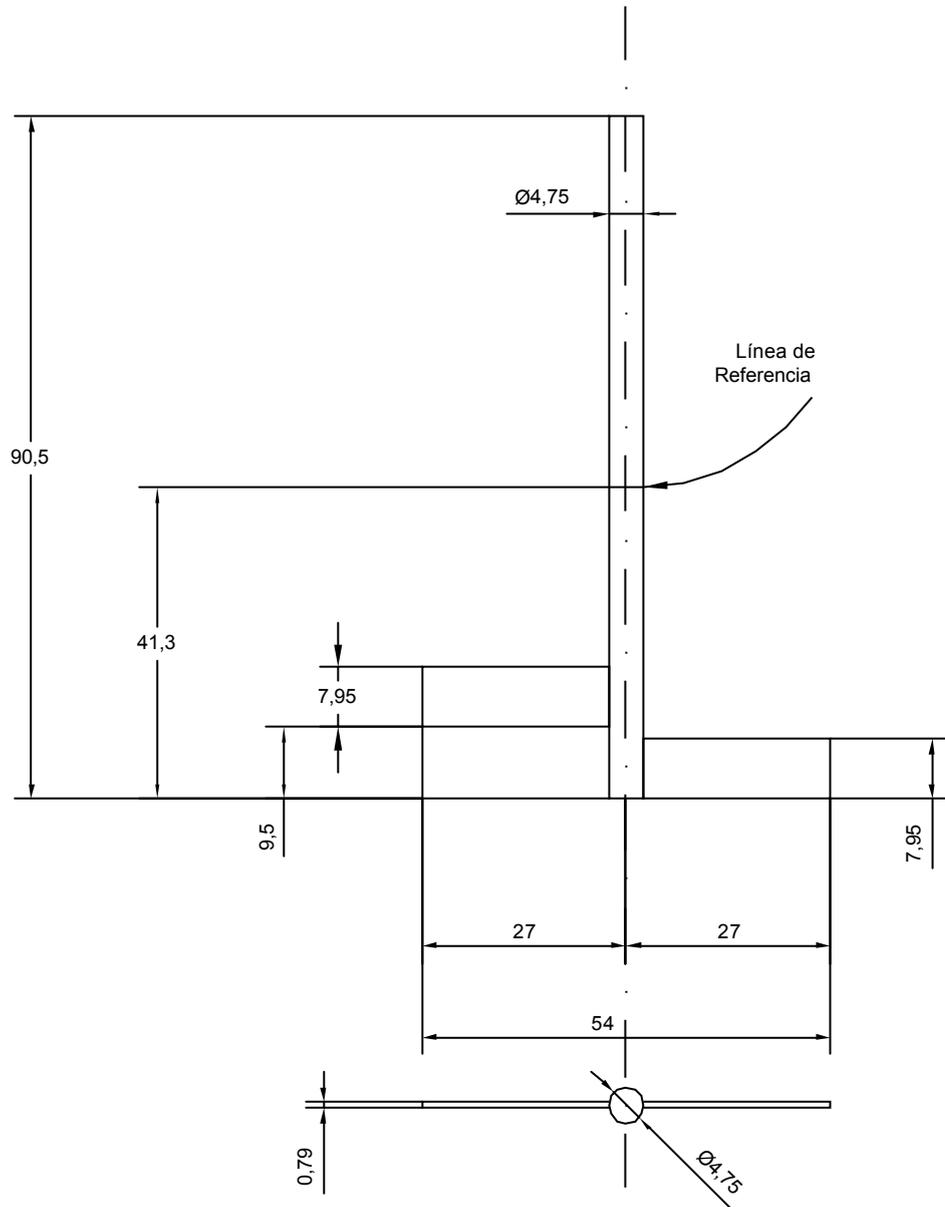


**Figura 2. Líneas estroboscópicas que aparecen como múltiplos y submúltiplos y que pueden observarse antes de alcanzar 200 r.p.m.**





- 1.- SOPORTE
- 2.- ROTOR
- 3.- MEDIDOR DE REVOLUCIONES  
(O SISTEMA ESTROBOSCOPICO)
- 4.- CARRETE PARA ELEVACION DEL SOPORTE DE PESAS
- 5.- TORNILLO DE BLOQUEO
- 6.- SOPORTE PARA LAS PESAS
- 7.- TORNILLO PARA LA FIJACION DEL SOPORTE



Dimensiones en mm.



## 8.602.5 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD RELATIVA DE PINTURAS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de aplicación.** Se establece un método para determinar la densidad de pinturas, barnices, lacas y productos afines en estado líquido.

Este método no se aplica a la determinación de la densidad de pigmentos en estado líquido.

Este método es también aplicable a productos con una alta viscosidad o a aquellos en los cuales uno de sus componentes es demasiado volátil para efectuar una determinación de densidad por el método de la balanza.

**2.- Referencia.**

- NCh 1001.Of.89 "Pinturas- Determinación de la densidad".

**3.- Terminología.**

**Densidad:** es la masa de una unidad de volumen de un líquido a cualquier temperatura dada. En este método se expresa en g/ml del líquido a la temperatura especificada; en ausencia de una temperatura dada, se presume a 25°C.

**4.- Resumen del Método.** El método se basa en calibrar el volumen de un recipiente con agua destilada a 25°C, o a una temperatura previamente convenida, y pesar el contenido de pintura líquida contenido en el recipiente a la misma temperatura de calibración. La densidad se calcula en gramos por milímetro a la temperatura especificada, (ver Anexo A).

**Nota 1:** En el anexo A se incluyen los valores de la densidad absoluta del agua destilada a diferentes temperaturas.

**5.- Aparatos.**

**5.1 Picnómetro.** De cualquier tipo, con una capacidad de 20 a 100 ml. Su diseño debe ser tal que permita llenarlo fácilmente con productos de alta viscosidad, ajustarlo al volumen exacto y tapanlo para evitar la pérdida de materias volátiles.

**5.2 Termómetros.** Graduados con una sensibilidad de 0,1°C.

**5.3 Baño.** De temperatura constante regulable a  $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

**5.4 Balanza Analítica.**

**Nota 2:** Los picnómetros especializados, cuando están llenos, pueden tener masa que exceda la capacidad de las balanzas analíticas comunes. En tales casos, se puede usar una balanza de mayor capacidad, con escala graduada al 0,01 g. El promedio de los resultados de esa balanza tiene la precisión y exactitud necesarias.

**5.5 Desecador y Balanza Provista de un Desecador.** O un cuarto en el cual se mantengan una temperatura y humedad razonablemente constantes.

**6.- Calibración del Picnómetro.** Determinar el volumen del recipiente a la temperatura especificada según se indica a continuación.

**6.1** Limpie y seque el recipiente y llévelo hasta masa constante. Para recipientes de vidrio puede usar ácido crómico (Nota 3) o solventes no residuales y para recipientes de metal pueden usarse solventes. Repita estas operaciones hasta que la diferencia entre 2 pesadas sucesivas no exceda en 0,001% de la masa del recipiente. Debe evitar las impresiones de los dedos sobre el recipiente puesto que ello hace variar su masa. Registre la masa, M, en gramos.

**6.2** Llene el recipiente con agua destilada recién hervida, a una temperatura levemente inferior a la especificada y tape el recipiente dejando abierto el orificio de rebalse. Retire inmediatamente el exceso de agua o el agua acumulada en las depresiones lavando con acetona o alcohol etílico y secando con un material absorbente. Evite que queden burbujas de aire ocluidas dentro del recipiente.

**6.3** Lleve el recipiente y su contenido a la temperatura especificada usando el baño de temperatura constante. Esto puede producir un leve flujo de agua en el orificio de rebalse debido a la expansión del agua producida con el aumento de temperatura.

**6.4** Elimine el flujo de agua secando cuidadosamente con un material absorbente, evitando absorber agua a través del orificio, e inmediatamente tape el tubo de rebalse cuando éste exista y si es necesario seque el lado exterior del recipiente.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, no se debe eliminar el agua que rebalse después de la primera limpieza (Nota 4). Pese inmediatamente (Nota 5) el recipiente lleno y registre la masa, N en gramos con una aproximación al 1mg.

**Nota 3:** La solución de ácido crómico es corrosiva a la piel, ojos y membranas mucosas y puede causar quemaduras graves. Debe evitarse su contacto con los ojos, la piel o la ropa. Al diluir la solución agregue siempre el ácido al agua con cuidado. En el caso de que haya contacto, lave la piel con agua usando una ducha si la exposición es grave. Lave los ojos durante 15min con gran cantidad de agua, y llame de inmediato al médico. Seque la ropa inmediatamente y lávela antes de volver a usarla. La solución de ácido crómico es un fuerte oxidante, debe evitarse su contacto con sustancias orgánicas o reductoras ya que pueden incendiarse.

**Nota 4:** La manipulación del recipiente con las manos desnudas aumenta la temperatura y causa mayor rebalse por el orificio, dejando además la impresión de los dedos. Debido a lo anterior se recomienda manejar el recipiente con pinzas y con manos protegidas con un material seco y limpio.

**Nota 5:** Se recomienda una pesada rápida e inmediata del recipiente lleno para disminuir las pérdidas de masa debido a la evaporación del agua a través del orificio y al rebalse posterior al primer secado después de alcanzar la temperatura deseada.

## 7.- Procedimiento.

**7.1** Homogeneice completamente la muestra.

**7.2** Repita los pasos señalados en el capítulo 6, sustituyendo el agua destilada por la muestra y la acetona o alcohol etílico por un disolvente apropiado, lavando cuidadosamente las superficies esmeriladas y uniones (ver 6.2 y Nota 6). Registre la masa,  $m_1$ , del recipiente lleno y la masa  $m$ , del recipiente vacío en gramos.

**Nota 6:** Las películas de pintura que pueden quedar adheridas a las superficies esmeriladas o uniones metálicas tienden a dar resultados erróneos, especialmente en productos de alta viscosidad y densidad. Tales errores deben minimizarse ajustando firmemente las uniones y lavando las uniones o superficies esmeriladas con un disolvente apropiado.

## 8.- Resultados

**8.1 Cálculo del Volumen del Recipiente.** Calcule el volumen del recipiente, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$V = \frac{N - M}{\rho}$$

donde:

- V : Volumen, ml, del recipiente;
- N : Masa, g, del recipiente y el agua (6.4);
- M : Masa, g, del recipiente seco (6.1);
- $\rho$  : Densidad absoluta del agua, g/ml, a la temperatura de ensaye (véase el Anexo A).

**8.2 Cálculo de la Densidad de la Muestra.** Calcule la densidad de la muestra, g/ml, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$D = \frac{m_1 - m}{V}$$

donde:

- D : Densidad, g/ml, de la muestra.
- $m_1$  : Masa, g, del recipiente lleno (7.2).
- m : Masa, g, de recipiente vacío (7.2).
- V : Volumen, ml, del recipiente calculado según párrafo 8.1.

## 9.- Precisión.

**9.1 Repetibilidad.** La diferencia entre los resultados obtenidos por el mismo operador en diferentes días, no debe ser superior a 0,6% en valor relativo.

**9.2 Reproducibilidad.** La diferencia entre los resultados obtenidos por diferentes operadores en distintos laboratorios, no debe ser superior a 1,8% en valor relativo.

En el caso de pinturas de tránsito con microesferas de vidrio incorporadas, la diferencia entre los resultados obtenidos no debe ser superior al 3% en valor relativo.

**10.- Informe.** El informe debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Densidad de la muestra, en g/ml, con una aproximación de 0,001 g/ml.
- c) Temperatura de ensaye, con una aproximación de 0,1°C.
- d) Promedio, intervalo y número de determinaciones.
- e) Fecha de ensaye.
- f) Observaciones.

**ANEXO A**  
(Normativo)

**TABLA 8.602.5.A**  
**DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA, g/ml**

<b>TEMPERATURA, °C</b>	<b>DENSIDAD ABSOLUTA, g/ml</b>
15	0,999 127
16	0,998 971
17	0,998 772
18	0,998 623
19	0,998 433
20	0,998 231
21	0,998 020
22	0,997 798
23	0,997 566
24	0,997 324
25	0,997 072
26	0,996 811
27	0,996 540
28	0,996 260
29	0,995 972
30	0,995 684

## 8.602.6 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL SANGRADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Establece un método para determinar el grado de sangrado de pinturas de tránsito.

Este método se aplica a las pinturas de tránsito usadas en la demarcación de pavimentos.

**2.- Referencias.**

- UNE 135201 EX. Enero 1997."Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Pinturas. Determinación de la Resistencia al Sangrado".
- 8.602.8 Seguridad Vial: Método para determinar el color y factor de luminancia de los productos de señalización vial horizontal

**3.- Terminología.**

**Grado de Sangrado:** Decoloración que experimenta una pintura de tránsito cuando es aplicada sobre un sustrato de tipo asfáltico.

**4.- Resumen del Método.**

**4.1** El método cuantitativo consiste en aplicar la pintura sobre un sustrato de tipo asfáltico, cuya superficie ha sido previamente cubierta en parte con una lámina de celofán para impedir en esta zona el contacto sustrato asfáltico -pintura valorando finalmente el contraste de color entre las zonas de pintura con y sin contacto directo con el sustrato asfáltico.

**5.- Aparatos.**

**Moldes.** Para la fabricación de las probetas con sustrato asfáltico, se emplearán moldes metálicos de sección recta con dimensiones mínimas de 70 mm por 150 mm de base y 15 mm de altura.

**Aplicador de Película de Pintura.** Se utiliza una pistola de aire, capaz de producir una película homogénea de un espesor húmedo de 380  $\mu$ m.

**Soporte de Película.** Como soporte asfáltico para la aplicación de las películas de pintura, se utilizarán probetas con sustrato asfáltico formado por arena silícea o caliza y filler mineral calizo o cemento, con la siguiente granulometría.

Tamiz ASTM	% de Retenido
N° 10	-
N° 40	10-40
N° 100	20-48
N° 200	12-36
Pasa N° 200	11-14

y un cemento asfáltico tipo 60-80, en la proporción de 11 %  $\pm$  0,5 % sobre mezcla.

**Nota1:** En casos específicos se podrá utilizar, el producto asfáltico especificado para algún contrato en particular.

Tanto las arenas como los fillers cumplirán las especificaciones vigentes que para los mismos se establezcan en la fabricación de mezclas asfálticas.

En el caso de utilizarse filler mineral calizo. Este tendrá un contenido en carbonato cálcico ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) superior al noventa y dos por ciento (92%).

Se mezcla la arena, el betún y el polvo mineral, en ese orden, para su mejor homogeneización, previamente calentados cada uno de los componentes entre 140 °C y 150°C.

Seguidamente se llenan los moldes distribuyendo, compactando y enrasando la mezcla con la ayuda de una espátula.

Transcurridos no menos de 15 días desde su fabricación, las probetas se someterán a una presión de 10 MPa durante 90 segundos.

## 6.- Procedimiento de Ensaye.

**6.1 Preparación de las Probetas de Ensaye.** Sobre la superficie de las probetas ya preparadas se adhiere firmemente, antes de ensayarlas, una cinta de celofán que cubra completamente un tercio de esta superficie para obtener, de esta forma, una zona sin sangrado que pueda servir de contraste.

**6.2 Ensaye.** La probeta preparada según 6.1 se coloca sobre una superficie horizontal y con la cara parcialmente tapada por una cinta de celofán, a la vista.

Se extiende la pintura de forma que cubra completamente la superficie de la probeta, incluida la zona cubierta por el celofán, con el rendimiento previamente especificado, dejándola en reposo y en esta posición horizontal durante 168 horas, a una temperatura de  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  y a una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ .

Inmediatamente después de transcurridas estas horas de secado, se procede a la evaluación del contraste de color existente entre las partes de la película en contacto directo con el material bituminoso (zona de sangrado), y con la película de celofán (zona sin sangrado).

**7.- Resultados.** El grado de sangrado se evalúa numéricamente mediante la relación de contraste  $r_c$  de la película seca de pintura, que se calcula por la formula:

$$r_c = \beta_1/\beta_2$$

donde:

- $\beta_1$ : Factor de luminancia (valor triestímulo  $Y_{10}/100$ ) según el método 8.602.8 determinado con iluminante CIE D65, geometría 45/0 y observador patrón 2°, de la película seca de pintura aplicada sobre la superficie bituminosa.
- $\beta_2$ : Factor de luminancia (valor triestímulo  $Y_{10}/100$ ) según el método 8.602.8 determinado con iluminante CIE D65, geometría 45/0 y observador patrón 2°, de la película seca de pintura aplicada sobre la cinta de celofán.

**8.- Informe.** El informe debe indicar:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Asfalto utilizado en la probeta
- c) Relación de contraste  $r_c$
- d) Fecha de ensaye.
- e) Observaciones.

## 8.602.7 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE RESISTENCIA AL FLUJO DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objetivo y Campo de Aplicación.** Se establece un método de ensaye para la determinación de la resistencia al flujo de los materiales termoplásticos de aplicación en caliente, utilizados en la señalización horizontal de carreteras.

### 2.- Referencia.

- **UNE 135-223-94.** Determinación de la resistencia al flujo.

**3.- Aparatos.** Los materiales básicos empleados en este ensaye son:

**3.1 Recipiente Metálico.** De forma cónica de 115mm de diámetro y 100mm ± 5mm de altura.

**3.2 Un Pie de Metro.**

**3.3 Horno Eléctrico.**

**3.4 Grasa de Silicona.**

### 4.- Procedimiento.

**4.1 Preparación de Probetas.** Tome una muestra representativa de aproximadamente 700 g de material caliéntela en un baño de aceite a una temperatura de 180°C a 200°C, evitando los sobrecalentamientos y con agitación constante, durante el tiempo necesario, para alcanzar la fluidez y homogeneidad necesaria para el llenado del recipiente cónico. Previamente al llenado, a las paredes interiores de este recipiente, aplíqueles una ligera capa de grasa de silicona, para evitar la adherencia del material.

Puede utilizarse un papel siliconado, acoplado por la parte interior del recipiente cónico, como material anti adherente.

Una vez lleno el recipiente metálico, déjelo enfriar a temperatura ambiente, 23°C ± 2°C, un tiempo mínimo de 24 horas.

**4.2 Ensaye.** Una vez transcurrido el tiempo de enfriamiento indicado, coloque el cono del material, libre ya del recipiente metálico, sobre una base plana, con dimensiones que permitan ser introducido en el horno y mida su altura con el pie de metro. Seguidamente, el conjunto base y cono póngalo en el horno a una temperatura de 60°C ± 2°C, durante 24 horas, sobre una superficie horizontal; transcurrido ese tiempo, saque la base y el cono y déjelo enfriar a una temperatura ambiente de 23°C ± 2°C, durante 2 horas y vuelva a medir la altura del cono con el pie de metro.

**5.- Resultados.** La resistencia al flujo se obtiene calculando la disminución de altura experimentada por el cono del material termoplástico, expresado en tanto por ciento, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia al flujo (\%)} = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100$$

donde

$h_1$  : Altura inicial del cono

$h_2$  : Altura del cono después del ensaye

Realice el ensaye por duplicado y la diferencia entre los dos valores no debe ser mayor de una unidad.

En caso contrario, repita el ensaye.

**6.- Informe.** El informe deberá contener, como mínimo la siguiente información:

- a) Tipo e identificación de la muestra ensayada.
- b) Cualquier desviación, acordado o no, respecto al procedimiento operativo.
- c) Referencia a esta norma.
- d) Resultados del ensaye.
- e) Fecha de ensaye.

## 8.602.8 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR Y FACTOR DE LUMINANCIA DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objeto y Campo y Aplicación.** Se describe el método para determinar las coordenadas de color de películas de pintura. Este método es solo aplicable a películas de pintura que presentan un aspecto uniforme de color, por ejemplo: monocromático, cuando se examina con visión normal. Las películas de pintura que no cubren completamente un sustrato no transparente representan un sistema opaco y puede ser medido usando el procedimiento descrito en este método.

Las películas de pintura luminiscentes, transparentes traslúcidas y metálicas están fuera del objeto de esta parte de la norma.

### 2.- Referencias

- UNE 48-073-94 Pinturas y Barnices. Medidas de color
- UNE-EN 1871-2000. Materiales para señalización vial horizontal. Propiedades físicas. Materiales para señalización vial horizontal. Comportamiento de las marcas viales aplicadas sobre la calzada.
- UNE –EN 1436.
- UNE 4-070 Estadística. Vocabulario y símbolos.
- 8.602.18, Método de Muestreo y Control de los Productos de Señalización Vial Horizontal
- UNE 48-031 Pinturas y Barnices. Determinación del espesor de película.
- UNE 48-073/1. Pinturas y Barnices. Colorimetría. Parte 1: Principios.
- UNE 48-073/3. Pinturas y Barnices. Colorimetría. Parte 3: Calculo de diferencias de color.
- UNE 82-008. Precisión de los métodos de ensayo. Determinación de la repetibilidad y reproducibilidad de ensayos interlaboratorio.
- UNE-EN 605. Pinturas y Barnices. Probetas normalizadas para ensayo.
- UNE-EN21513. Pinturas y Barnices. Examen y preparación de muestras para ensayo.
- ISO/CIE 10526 EN 1436: 1997.

**3.- Principios.** Medición de los valores triestímulos  $X_{10}, Y_{10}, Z_{10}$  mediante de los siguientes métodos:

- Determinación de las características fotométricas espectrales (reflectancias espectrales o factores reflectancia espectral) de la película de pintura con un espectrofotómetro y calculo de los valores triestímulos.
- Medición de los valores triestímulo con un colorímetro triestímulo.  
El cálculo de las coordenadas cromáticas  $x_{10}, y_{10}$  o de las coordenadas de color en el espacio de color aproximadamente uniforme CIE 1976 ( $L^*a^*b$ ) a partir de los valores triestímulo se describe en la norma UNE 48-073/1 o en el anexo A.

**4.-** El factor de luminancia  $\beta$  y las coordenadas cromáticas (x,y) deberán medirse utilizando un iluminante Patrón D65, como se define en ISO/CIE 10526. La geometría de medida se establece en  $45^\circ/0^\circ$ , que significa un ángulo de iluminación de  $45 \pm 5^\circ$  y uno de medida de  $0 \pm 10^\circ$ . Los ángulos se miden en relación a la perpendicular a la zona de medida de la marca.

**4.1 Películas de la Pintura Lisas, sin Textura.** Todas las condiciones descritas en el párrafo 1 de esta norma son apropiadas para la determinación de las coordenadas de color de películas de pinturas lisas no texturizadas.

En el caso de muestras de alto brillo, hay que considerar que los valores triestímulo obtenidos, para cualquier condición de medida, solo serán comparables si se corrige el efecto de reflexión especular (reflexión superficial) empleando el correspondiente dispositivo (trampa para brillo).

**Nota 1:** La reflexión superficial (reflexión externa) es la parte de la luz recibida por una muestra que es reflejada difusa y especularmente en la superficie; otra parte es dispersada por los pigmentos y cargas

en el interior de la película (reflexión interna). La reflectancia superficial (reflectancia Fresnel) cuando se ilumina con una incidencia entre 0 y 8° sobre películas de pinturas es aproximadamente 0,04.

Para todas las otras muestras la elección de las condiciones de medida depende de si la reflexión especular tiene que incluirse o excluirse de la medida. Vease anexo C.

**4.1.1 Medidas Incluyendo la Reflexión Especular.** Emplear las condiciones de medida 8/d o d/8 (sin trampa de brillo en ninguno de ellos).

**Nota 2:** Si, por ejemplo tras un envejecimiento, cambia el brillo sin un cambio perceptible visualmente en el color, los valores triestímulo medidos incluyendo la reflexión especular, por lo general no son influenciados.

**4.1.2 Medidas Excluyendo la Reflexión Especular.** Emplear las condiciones de medida 8/d o d/8 (con trampa de brillo para ambos) o 45/0 o 0/45.

**Nota 3:** Si cambia el brillo, la parte difusa de la reflexión superficial cambiará consecuentemente los valores triestímulo medidos excluyendo la reflexión especular también cambiarán.

## 4.2 Películas de Pintura con Textura Superficial

**4.2.1 Medidas Incluyendo la Reflexión Especular.** Para la caracterización espectral de las películas de pintura con textura superficial ( por ejemplo, acabados texturizados) emplear las condiciones medidas 8/d o d/8 ( sin trampa de brillo para ninguno de ellos).

**4.2.2 Medidas Excluyendo la Reflexión Especular.** Para muestras mates o de bajo brillo, emplear las condiciones de medida 8/d o d/8 ( con trampa de brillo para ambos). Por otra parte también se pueden emplear las condiciones de medida 45/0 o 0/45 se las muestras se cambian de posición durante la medida, o las condiciones de medida 45/0 si la muestra se ilumina toroidalmente o por medio de dos haces de rayos que se forman entre sí.

**Nota 4:** Para películas de pintura con superficie de alto brillo y que están texturizadas, no debe emplearse las condiciones de medida 8/d o d/8 (con trampa de brillo), ni 45/0 o 0/45 debido a que de forma aleatoria la luz reflejada especularmente puede alcanzar un detector.

**5.- Elección del Observador Colorimétrico Patrón y del Iluminante Patrón.** Deben emplearse preferentemente el observador colorimétrico patrón suplementario CIE 1964 y el iluminante D 65.

Para determinación de un índice de metamerismo especial (cambio en las diferencias de color entre dos muestras debido a la sustitución del iluminante) debe emplearse además el iluminante A como iluminante de ensaye.

## 6.- Aparatos

**6.1 Espectrofotómetro.** Para colorimetría de alta precisión, debe emplearse un espectrofotómetro simple o preferiblemente de reflexión de doble haz equipado con un monocromador de prisma o red y una cabeza fotométrica que satisfaga las condiciones elegidas de iluminación y observación descritas en el capítulo 4.

Empleando estos instrumentos, la repetibilidad con la que pueden medirse las reflectancias espectrales o factores de reflectancia espectrales deben ser mejores que el mayor de los siguientes dos valores: 0,2% de la lectura o 0.0001 (Absoluto).

La repetibilidad para largos intervalos de tiempo no debe sobrepasar estos valores afectados por un factor de mas de 3.

**Nota 5:** Para el propósito de esta parte de esta norma, la repetibilidad del método de medida es el valor por debajo del cual la diferencia absoluta entre dos resultados del ensaye simple para la misma película de pintura bajo las condiciones ( mismo operador, mismo espectrofotómetro, en un corto intervalo de

tiempo) es admisible con un 95% de probabilidad. La repetibilidad se obtiene multiplicando la desviación estándar del método por el factor apropiado. (Véase la norma UNE 82-008).

La precisión debe ser mejor que el mayor de los siguientes dos valores: 0,5% de la lectura o 0,0002 (absoluta).

**Nota 6:** Para el propósito de esta parte de la norma, precisión es el acercamiento o acuerdo entre los valores verdaderos y el resultado medio que pudiera obtenerse aplicando el mismo método de colorimetría un gran número de veces (Véase la norma UNE 4-070).

Si las medidas colorimétricas son para supervisión objetiva de los patrones de referencia de color debe emplearse un espectrofotómetro del tipo descrito anteriormente con prioridad al tipo simplificado (6.2) o un colorímetro triestímulo (6.4).

**6.2 Espectrofotómetro Simplificado.** Para las siguientes aplicaciones:

- a) La descripción objetiva de las diferencias de color entre la muestra a ensayar (una placa pintada o una muestra de material pintado) y una nueva referencia,
- b) Determinar desviaciones de color en la producción de materiales pintados de forma que los resultados puedan utilizarse para el control o regulación del proceso
- c) La descripción objetiva de cambios de color en la producción de materiales pintados de forma que los resultados puedan utilizarse para el control o regulación del proceso,
- d) La descripción objetiva de cambios de color originados por el envejecimiento y otras influencias físicas y químicas.

Para la repetibilidad a corto y largo plazo, aplicar las mismas condiciones definidas para los espectrofotómetros en 6.1.

La precisión debe ser mejor que la mayor de los siguientes dos valores: 1% de la lectura o 0.004 (absoluta).

**6.3 Integrador.** Para ponderar las características fotométricas espectrales medidas con la distribución de energía espectral relativa del iluminante patrón y los coeficientes de distribución  $x_{10}(\lambda)$ ;  $y_{10}(\lambda)$ ;  $z_{10}(\lambda)$  y la sumatoria descrita en la primera parte de esta norma, puede usarse una computadora con capacidad adecuada.

Los espectrofotómetros simplificados y algunos espectrofotómetros automáticos incorporar integradores electrónicos o mecánicos.

**6.4 Colorímetro Triestímulo.** La integración puede realizarse también ópticamente con tres filtros triestímulo constituido de tal manera que las medidas aparezcan en una relación lineal simple con los valores triestímulo. Los instrumentos de esta categoría, que se denominan colorímetros triestímulo, tienen que estar equipados con una cabeza fotométrica que satisfaga las condiciones de iluminación y observación elegidas según se describe en el capítulo 4.

Tres filtros tienen que ajustarse en lo que respecta a su transmitancia espectral  $\tau_x(\lambda)$ ;  $\tau_y(\lambda)$ ;  $\tau_z(\lambda)$  a los coeficientes de distribución, a la distribución de energía espectral relativa al iluminante patrón y de la fuente de luz del instrumento, y a las sensibilidades de los detectores fotoeléctricos. Con pocas excepciones los fabricantes de colorímetros triestímulo no prevén el ajuste fino. El filtro  $\tau_x$  absorbe completamente la luz en el rango de longitud de onda por debajo de 500nm. Por lo tanto, el valor triestímulo  $x_{10}$  se obtiene sumando los factores de reflectancia medidos con filtros  $\tau_x$  y  $\tau_z$  ponderados con varias constantes.

Como consecuencia de las dificultades en ajustar los filtros a los parámetros adecuados, los colorímetros triestímulo son generalmente desaconsejables para la medida del color per se y su uso debe restringirse a la medida de diferencias de color. Sin embargo, incluso para este uso, pueden encontrarse dificultades en establecer correspondencia de un color de referencia si la muestra y el patrón son metaméricos. En consecuencia, el uso de los colorímetros triestímulo es mejor restringirlo a: determinar desviaciones de color en la producción de materiales pintados de forma que los resultados puedan utilizarse

para el control y la regulación del proceso y a la descripción objetiva de cambios de color originados por el envejecimiento y otras influencias físicas y químicas.

La repetibilidad con la que los valores triestímulo pueden medirse debe ser mejor que el mayor de los siguientes valores: 0,2% de la lectura o 0,001 (absoluto).

La precisión puede ser peor del 1% dependiendo de la luminosidad y de la otra forma la curva de reflectancia.

**7.- Toma de Muestras y Preparación de las Muestras.** Para las letras a), y c) del punto 6.2, tomar una muestra representativa de pintura como se describe en el Tópico 8.602.18 Método de muestreo y control de los productos de señalización vial horizontal.

Examinar y preparar la muestra para ensaye, como se describe en la norma UNE EN 21513.

Preparar los paneles de ensaye de acuerdo a la norma UNE-EN 605, aplicar la pintura, secar y si fuera necesario acondicionar la película de pintura siguiendo las instrucciones del fabricante o de otra forma acordada.

**Nota 7:** Si el color de la película de pintura es reversible dependiendo de la temperatura, este debe mantenerse durante el ensaye a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  mediante métodos adecuados (por ejemplo empleando soportes de muestras controlados termostáticamente). Si el color de la pintura es irreversible dependiendo de la temperatura, la muestra debe ser acondicionada, hasta que el color no sufra mas cambios. En caso de películas de pintura que no cubren completamente el sustrato, el color depende del color del sustrato y del espesor de la película, que debe determinarse mediante los procedimientos descritos en la norma UNE 48-031.

Para materiales pintados (en los cuales se desea determinar desviaciones de color en la producción, de forma que los resultados puedan utilizarse para el control o regulación del procesos) tomar muestras que sean representativas de las superficies a medir. Si fuera necesario el numero de muestras debería acordarse entre las partes.

La muestra de la película de pintura debe ser plana y limpia. Las dimensiones de la muestra a ensayar deben ser las adecuadas para permitir medida de acuerdo con las dimensiones del cabezal de medida del instrumento y que la ventana de medida de ese cabezal no sea inferior a 10 mm.

## 8.- Patrones de Reflectancia

**8.1 Patrón Primario.** El patrón primario para medir la reflectancia o factor de reflectancia de la muestra es el difusor reflectante perfecto tal como se recomienda por CIE y definido como un difusor uniforme ideal con una reflectancia espectral igual a la unidad para todas las longitudes de onda.

**8.2 Patrón Secundario.** Puesto que el patrón primario no puede existir en la practica, se necesita un patrón secundario con reflectancias espectrales conocidas que estén tan próximas como sea posible a las del patrón primario.

**8.2.1 Fuente.** Normalmente se emplea como patrón secundario polvo comprimido en tabletas de sulfato de bario. El fabricante de sulfato de bario empleado para preparar tabletas debe especificar las reflectancias espectrales  $\rho_{8/d}(\lambda)$  o factores de reflectancia espectral  $R_{45/0}(\lambda)$  del polvo para varias longitudes de onda. Estas longitudes de onda deben escogerse de forma que permitan la interpolación de reflectancias o factores de reflectancias con una precisión de  $\pm 0,001$ . Los valores especificados harán referencia a tabletas de sulfato de bario preparadas mediante el método descrito y medidas usando una técnica de medida absoluta, v.g: relacionadas indirectamente al patrón primario (Ver nota 9).

El polvo debe estar libre de contaminantes e indicado para comprimir.

**Nota 8:** La reflectancia espectral  $\rho_{8/d}(\lambda)$  y factores de reflectancia espectral  $R_{d/8}(\lambda)$  de las tabletas hechas de polvo de sulfato de bario casi coinciden. La desviación entre los factores de reflectancia espectral  $R_{45/0}(\lambda)$  y  $R_{0/45}(\lambda)$  de las tabletas de sulfato de bario debe determinarse.

**8.2.2 Preparación y Comprobación.** Con una prensa mecánica para polvo, empleada únicamente para este fin, moldear cantidades constantes de polvo de sulfato de bario en tabletas que tenga un mínimo de 5 mm de espesor y una densidad de  $1,6 \text{ g/cm}^3$  a  $1,7 \text{ g/cm}^3$ . Las tabletas presentarán una superficie lisa, plana y mate. Limpiar el polvo comprimido cuidadosamente tras cada operación de prensado puesto que trazas de polvo residual puede degradar la calidad superficial de las tabletas. No podrán rehacerse tabletas de la misma muestra de polvo.

La repetibilidad de la reflectancia del patrón secundario preparado de acuerdo con esta parte de la norma será mejor que 0,2 % con un lote determinado de polvo de sulfato de bario.

Los patrones de reflectancia preparados de esta manera, si se manejan cuidadosamente y se almacenan en un desecador, pueden usarse durante una semana. Debe ponerse especial cuidado en asegurarse que no están expuestas a la radiación ultravioleta ( $\lambda < 270 \text{ nm}$ ) pues podría incluir a cambios en las reflectancias espectrales en el rango de longitudes de onda por debajo de 450 nm ( ver nota 9).

**Nota 9:** ERB, W. Requirements for reflection standards and the measurement of reflection values. Applied Optics 14 1975:493.  
CIE Publicación n°15, suplemento n°1. Índice de metamerismo especial: cambio de iluminante.

Para preparar patrones de sulfato de bario se recomienda el siguiente aparato y procedimiento. La fig.1 muestra una representación esquemática de la prensa de polvo.

Se coloca un anillo metálico, que posteriormente servirá de bastidor para las tabletas, sobre la base y se tapa con una placa de vidrio limpia esmerilada (véase nota 10 y la figura 1 a). El anillo y la placa de vidrio se sujetan juntas mediante una abrazadera ( no está en la figura). Se añade un peso conocido de polvo ( $1,65 \text{ g}$  por cada  $\text{cm}^3$  de volumen de la tableta) dentro del cilindro insertado en el anillo y se unen dos secciones de la prensa de forma que el embolo quede dentro del cilindro. Ambas secciones se aprietan conjuntamente. Para aumentar la densidad de las tabletas, la sección superior debe pulsarse suavemente varias veces con un martillo de caucho; después, la sección superior debe apretarse nuevamente. La presión y la pulsación deben repetirse dos o tres veces hasta que el polvo llene solamente la porción cónica del anillo. La parte superior con el embolo y el cilindro debe ser entonces sustituida por una tapa. A continuación se da la vuelta a la prensa (fig 1b) y se abre la abrazadera para permitir la eliminación de la parte inferior con la placa de vidrio. La superficie expuesta de la tableta debe estar enrasada con los bordes del anillo, el cual coincide con la ventana del fotómetro. El polvo habrá sido tan compactamente comprimido que la superficie de la tableta puede incluso usarse en posición vertical o suspendida sin pérdida de granos ni polvo.

**Nota 10:** La superficie de la placa de vidrio en contacto con el polvo deberá estar mateada con abrasivo (tamaño de grano de alrededor de  $0,3 \mu\text{m}$ ) y después tratada con ácido fluorhídrico diluido.

La placa de vidrio debe lavarse cuidadosamente en mezcla crónica seguida por un aclarado persistente con agua destilada y posteriormente con etanol dejándola secar. Para limpiezas intermedias es suficiente emplear un poco de algodón impregnado con etanol.

**8.3 Patrones de Trabajo.** Para medidas de rutina con un instrumento individual es posible emplear patrones de trabajo con reflectancias espectrales que permanecen estables durante largo tiempo. Estos patrones de trabajo no necesitan difusores uniformes pero deben calibrarse con la ayuda de un patrón de sulfato de bario y el instrumento con el que e usan. Deben ser materiales estables y duraderos tales como vidrios opalescentes vitrolita o cerámica. La superficie debe pulirse para facilitar la eliminación de contaminantes y la limpieza.

Deben emplearse patrones de trabajo grises para comprobar la linealidad de la escala fotométrica y para ampliar el rango fotométrico del instrumento, de forma que puedan medirse muestras oscuras con una fiabilidad que de otra manera no sería posible.

La comprobación de la repetibilidad y precisión del método de ensaye puede realizarse empleando distintos patrones de trabajo de espectros selectivos.

## 9.- Procedimiento

**9.1 Método Usando un Espectrofotómetro.** El instrumento debe operarse siguiendo las instrucciones del fabricante.

Ajustar la escala fotométrica o la unidad de medida de intensidad y el integrador, si existe. Ajustar el cero colocando una trampa de luz de alta eficiencia en la ventana del aparato, nunca ajustar el cero tapando el haz luminoso. Ajustar el punto superior de la escala por medio de un patrón de reflectancia apropiado sobre el rango de longitud de onda del espectro visible.

Comprobar la linealidad de la escala empleando patrones de trabajo grises con reflectancias espectrales conocidas.

Calibrar la escala de longitud de onda empleando lámparas de descarga de cadmio o mercurio con bandas de emisión estrechas, cuando el equipo lo requiera o permita.

**Nota 11:** Otros errores instrumentales pueden evitarse excluyendo la luz difusa (por ejemplo empleando un filtro de luz parásita) y limpiando las superficies ópticas contaminadas.

Comprobar si la repetibilidad corresponde al valor dado por el fabricante del instrumento mediante el empleo de patrones de trabajo espectralmente selectivos.

Periódicamente comprobar la linealidad de la escala fotométrica, la calibración de la escala de longitud de onda y la repetibilidad, dependiendo del tiempo e intensidad de uso del instrumento.

Ajustar el ancho de ranura o el programa de ancho de ranura a un equilibrio deseable entre la resolución espectral y la sensibilidad con respecto a los intervalos de longitud de onda elegidos (véase siguiente párrafo) y la luminosidad de la película de pintura que va a ser medida. Seleccionar una velocidad de lectura adecuada.

Medir con intervalos de longitud de onda  $\Delta\lambda = 10$  nm es el rango espectral de 380 nm a 770 nm empleando luz monocromática con una anchura de banda de 10 nm. En casos especiales tales como películas de pintura altamente cromáticas con curvas de reflectancia espectral abruptas, medir a intervalos de longitud de onda de 5 nm empleando monocromática con una anchura de banda de menos de 5 nm.

Dependiendo de las condiciones de medidas elegidas, determinar las reflectancias espectrales o los factores de reflectancia espectral, o cuando se emplea un integrador, los valores triestímulo y coordenadas cromáticas de la muestra en relación al patrón de reflectancia.

Para detectar la introducción de un error en cualquier medida, repetir cada medida. En el caso de discrepancias mayores que las características de repetibilidad dadas por el fabricante del instrumento, repetir la medida varias veces y si es necesario, eliminar la causa de las discrepancias.

**Nota 12:** Las discrepancias pueden ser originadas por el instrumento o la muestra.

Si las características espectrales se determinan con espectrofotómetros no integrados, calcular los valores triestímulo y las coordenadas cromáticas de acuerdo a la parte 1 de la norma

Calcular los valores medios del valor triestímulo  $Y_{10}$  y las coordenadas cromáticas  $x_{10}$ ,  $y_{10}$  o las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  en la forma apropiada.

**9.2 Método Usando un Espectrofotómetro Simplificado o un Colorímetro Triestímulo.** El instrumento se manejará usando las instrucciones del fabricante.

Ajustar la unidad de medida de intensidad y el integrador, cuando se use un espectrofotómetro simplificado. Ajustar el cero colocando una trampa de luz de alta eficiencia en la ventana del aparato. Nunca ajustar el cero tapando el haz luminoso. Ajustar el punto superior mediante un patrón de reflectancia apropiado, sucesivamente para cada filtro.

Comprobar la linealidad de la unidad de medida de intensidad empleando patrones de trabajo grises neutros, con reflectancias espectrales conocidas.

Comprobar el envejecimiento de cada filtro y la repetibilidad empleando patrones de trabajo de espectros apropiados. Cuando se emplee un colorímetro triestímulo, comprobar la unidad de medida que consta de fuente de luz, filtros y detectores.

Cuando se emplee un colorímetro triestímulo comprobar periódicamente la linealidad, la repetibilidad y el envejecimiento de los filtros; comprobar nuevamente el estado de la unidad de medida en función del tiempo e intensidad de uso del instrumento.

Calcular el valor triestímulo  $Y_{10}$  y las coordenadas cromáticas  $x_{10}$ ,  $y_{10}$  con relación al patrón de reflectancia en la forma apropiada. Repetir la medida y calcular los valores medios.

### 9.3 Pinturas y Plásticos en Frío

**9.3.1 Equipos.** Las medidas sobre muestras de marcas viales pueden realizarse mediante equipos de laboratorio, o mediante equipos portátiles si se realizan sobre marcas aplicadas sobre la carretera. Estos equipos pueden basarse bien en la medida de los valores triestímulo X, Y, Z, mediante el empleo de filtros o en medidas espectrales seguidas del cálculo del factor de luminancia  $\beta$  y de las coordenadas cromáticas ( $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ).

La calibración estará basada en métodos reconocidos por un laboratorio acreditado. Las tejas de referencias u otras referencias de calibración tendrán una calibración trazable por un laboratorio acreditado.

**9.3.2 Materiales.** Las placas serán de aluminio de tamaño mínimo 150 mm\*75mm\*0,60mm y se prepararán para el ensaye limpiándolas previamente con disolvente y dejar secar durante 24 horas en posición horizontal a  $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $(50\pm 5)\%$  de humedad relativa y protegida de la radiación solar directa y el polvo.

**9.3.3 Procedimiento.** Se prepara la placa de aluminio y se aplica la pintura o el plástico en frío sobre ella utilizando calces y un extendedor tipo Doctor Blade para obtener un espesor de película húmeda de  $400\ \mu\text{m}\pm 35\ \mu\text{m}$ . En el caso de pinturas que contengan esferas de vidrio premezcladas, se puede aplicar una capa equivalente a  $1000\ \text{g}/\text{m}^2$ . Se deja secar la placa durante 7 días en posición horizontal a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  y a una humedad relativa del  $50\%\pm 5\%$ , protegida del polvo y de la luz solar.

Las coordenadas cromáticas ( $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ) deberán medirse utilizando un iluminante patrón D65, como se define en ISO/CIE 10526. La geometría de medida se establece en  $45^{\circ}/0^{\circ}$ , que significa un ángulo de iluminación de  $(45\pm 5)^{\circ}$  y uno de medida de  $(0\pm 10)^{\circ}$ . Los ángulos se miden en relación a la perpendicular a la zona de medida de la marca vial. La zona de medida de la marca vial deberá ser como mínimo de  $5\text{cm}^2$ .

**Nota 13:** Para las superficies muy rugosas, conviene que la superficie de la zona de medida sea mayor que  $5\ \text{cm}^2$ , por ejemplo  $25\ \text{cm}^2$ .

Para las marcas viales con resaltes, no es siempre válida la medida del factor de luminancia  $\beta$ . La visibilidad bajo iluminación diurna o alumbrado público de este tipo de marca sólo puede juzgarse a través del coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa  $Q_d$ .

**Nota 14:** Los valores triestímulo X, Y, Z actúan como valores intermedios. El valor estímulo Y, se convierte en el factor de luminancia  $\beta$  o bien  $\beta$  puede medirse directamente. El factor de luminancia es una medida del brillo de la marca vial tal como es percibido desde su proximidad. Los valores triestímulo se convierten, después, en las coordenadas cromáticas ( $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ) que se emplean en las especificaciones de cromaticidad de las marcas viales.

## 9.4 Termoplásticos.

### 9.4.1 Equipos

- a) Las medidas sobre muestras de marcas viales pueden realizarse mediante equipos de laboratorio, o mediante equipos portátiles si se realizan sobre marcas aplicadas sobre la carretera. Estos equipos pueden basarse bien en la medida de los valores triestímulo X, Y, Z, mediante el empleo de filtros o en medidas espectrales seguidas del cálculo del factor de luminancia  $\beta$  y de las coordenadas cromáticas ( $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ).
- b) Molde de goma siliconada compuesta de una lámina lisa de goma siliconada de aproximadamente 10 mm de espesor, para ser utilizada como placa base, y una lámina superior de similar tamaño y espesor con un círculo de 100 mm cortado en su interior.

**9.4.2 Materiales.** Se mide un bloque sólido de material termoplástico. Este Método de ensaye especifica una muestra de medidas apropiadas y suficiente espesor para dar una superficie lisa y de máxima reflexión. Se pueden usar otras muestras si se verifica que poseen las mismas propiedades específicas.

### 9.4.3 Procedimiento.

**9.4.3.1** Se funde material para llenar un molde de goma ya preparado y se deja un bloque de aproximadamente 100 mm de diámetro y 10 mm de espesor.

**Nota a:** Los materiales no serán calentados por encima de la temperatura de seguridad especificada por el fabricante.

**Nota b:** Para fines rutinarios, las muestras se pueden generar sobre una lámina lisa de metal cubierta de un revestimiento permanente y antiadherente de P.T.F.E. (Politetrafluoretileno).

En caso de duda, se utiliza el molde de silicona.

**Nota c:** Si, tras haber sido ensayada, la muestra va a ser reservada para posteriores mediciones, deberá ser colocada de nuevo en su molde y mantenida a baja temperatura, preferiblemente en un refrigerador con el fin de evitar alteraciones.

**Nota d:** Siempre que se utilice para la medición la superficie inferior de la muestra, la presencia de esferas de vidrio en el material no afectará probablemente, a su iluminancia.

Si es necesario, a fin de obtener una superficie inferior lisa, la parte superior del molde puede ser cargada con 5 kg de peso mientras la muestra este templada.

**9.4.3.2** Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente, se saca esta del molde y se miden inmediatamente los valores de las coordenadas cromáticas ( $x_{10}, y_{10}$ ) sobre tres áreas diferentes de la superficie inferior de la muestra.

Las coordenadas cromáticas ( $x_{10}$ ,  $y_{10}$ ) deberán medirse utilizando un iluminante patrón D65, como se define en ISO/CIE 10526. La geometría de medida se establece en  $45^\circ/0^\circ$ , que significa un ángulo de iluminación de  $(45 \pm 5)^\circ$  y uno de medida de  $(0 \pm 10)^\circ$ . Los ángulos se miden en relación a la perpendicular a la zona de medida de la marca vial. La zona de medida de la marca vial deberá ser como mínimo de  $5\text{cm}^2$  (ver nota 12).

Para las marcas viales con resaltes, no es siempre válida la medida del factor de luminancia  $\beta$ . La visibilidad bajo iluminación diurna o alumbrado público de este tipo de marca sólo puede juzgarse a través del coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa  $Q_d$  (ver nota 13).

**10.- Informe.** El informe deberá contener al menos la siguiente información:

- a) Tipo e identificación de la película de pintura ensayada, incluyendo una descripción del método de preparación,

- b)** Referencia de las normas empleadas
- c)** Tipo de instrumento ( espectrofotómetro, colorímetro triestímulo, etc) y su identificación ( fabricante y marca)
- d)** Intervalo de longitud de onda empleado, si lo hubiera;
- e)** Otras observaciones especiales ( por ejemplo, películas de pintura sin poder cubridor; espesor de película);
- f)** La lectura de los resultados del ensaye, en forma apropiada, o bien;
  - el valor medio del valor triestímulo  $Y_{10}$  (o factor de luminancia) y las coordenadas cromáticas  $X_{10}, Y_{10}$
  - la luminosidad psicométrica  $L^*$  y las coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  junto con la identificación de las condiciones de iluminación y observación y si se emplea o no la trampa de brillo.
- g)** Cualquier desviación acordada o no del procedimiento especificado
- h)** Fecha de ensaye.

**ANEXO A**

**COORDENADAS DE COLOR EN EL ESPACIO DE COLOR  
CIE 1976 (L\*a\*b\*).**

Para la evaluación de las diferencias de color, las coordenadas de color que se especifican son las del espacio de color de percepción más uniforme CIE 1976 (L\*a\*b\*) ( ver Publicación CIE N°15 Suplemento N°2).

Las coordenadas de color se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{para } (Y/Y_n) > 0.008856$$

$$L^* = 903,3(Y/Y_n) \quad \text{para } (Y/Y_n) \leq 0.008856$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

donde

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \quad \text{para } (X/X_n) > 0.008856$$

$$f(X/X_n) = 7,787(X/X_n) + 16/116 \quad \text{para } (X/X_n) \leq 0.008856$$

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad \text{para } (Y/Y_n) > 0.008856$$

$$f(Y/Y_n) = 7,787(Y/Y_n) + 16/116 \quad \text{para } (Y/Y_n) \leq 0.008856$$

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad \text{para } (X/X_n) > 0.008856$$

$$f(Z/Z_n) = 7,787(Z/Z_n) + 16/116 \quad \text{para } (X/X_n) \leq 0.008856$$

X,Y,Z representan los valores triestímulo a 10° de la película de pintura;

X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>, Z<sub>n</sub> son los valores triestímulo del difusor reflectante perfecto bajo iluminante patrón elegido.( ver Tabla 8.602.8.A).

**Nota:** Si se emplean valores triestímulo a 2°, se obtienen coordenadas L\*a\*b\* para observador 2°. Los correspondientes valores para X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>, Z<sub>n</sub>, se pueden calcular a partir de las coordenadas cromáticas a 2° para los iluminantes patrones D65 y A ( ver la publicación CIE n°15) con Y<sub>n</sub>=100.

**TABLA 8.602.8.A  
VALOR TRIESTIMULOS A 10° PARA EL DIFUSOR REFLECTANTE  
PERFECTO PARA LOS ILUMINANTES ESTANDAR D65 Y A**

Valor triestímulo	Iluminante patrón	
	D 65	A
X <sub>m</sub>	94,81	111,14
y <sub>m</sub>	100,00	100,00
Z <sub>m</sub>	107,34	35,20

La Tabla 8.602.8.B muestra el diagrama de coordenadas cromáticas para pinturas utilizadas en señalización vial.

**TABLA 8.602.8.B**  
**COORDENADAS CROMATICAS PARA PINTURAS UTILIZADAS EN SEÑALIZACION VIAL**

COLOR	COORDENADA	VERTICES			
		1	2	3	4
Blanco	X	0,355	0,305	0,285	0,335
	Y	0,355	0,305	0,325	0,375
Amarillo	X	0,494	0,545	0,465	0,427
	Y	0,427	0,455	0,535	0,483

La Tabla 8.601.1.E muestra el diagrama de coordenadas cromáticas para tachas reflectantes

## ANEXO B CONDICIONES DE ILUMINACION Y OBSERVACION

Las diferentes formas de medir la radiación reflejada, especificadas para la medición de color de acuerdo con esta norma, se enumeran en la Tabla 8.602.8.C.

En los haces luminosos direccionales de iluminación y observación, el ángulo entre el eje del haz y cualquier rayo no sobrepasará los 5°.

La observación e iluminación difusa tiene lugar en una esfera integradora con un recubrimiento interno elegido de tal manera que la luz se difunde por la pared de la esfera uniforme y no selectivamente con respecto a la longitud de onda. El arrea total de la ventana de la esfera integradora no sobrepasara el 10% del total del arrea interna reflectante de la esfera.

La luz reflejada especularmente puede suprimirse parcialmente bajo las condiciones de iluminación y observación 8/d y d/8 mediante una trampa de brillo. Los resultados de las medidas dependen del tamaño, la posición Y la estructura de la trampa de brillo.

Lo mas practico es emplear trampas de brillo que excluyan al menos el 95% de la luz reflejada mediante una placa de vidrio negro muy esmerilado. Estas trampas deben ensayarse empleando un patrón primario con indica de refracción entre 1,5 Y 1,55 tal como se especifica en la norma UNE 48-026 para la medida de brillo especular. El cociente de las reflectancias espectrales de las placas de vidrio altamente esmeriladas medidas con Y sin trampa de brillo debe cumplir la condición siguiente:

$$\rho_{(d)8/d}(\lambda) / \rho_{8/d}(\lambda) \leq 0,05 \text{ para cualquier longitud de onda}$$

**TABLA 8.602.8.C  
CARACTERISTICAS RADIOMETRICAS ESPECTRALES PARA LA  
COLORIMETRIA DE PELICULAS DE PINTURA**

Características radiométricas espectrales		Condiciones de medida		
	Símbolo	Iluminación	Observación	Designación (abreviada)
Factor de reflectancia espectral	$R_{45/0}(\lambda)$	direccional 45°± 5°	direccional 0°±10°	45°/normal (45/0)
	$R_{0/45}(\lambda)$	direccional 0°±10°	direccional 45°± 5°	Normal/45° (0/45)

## ANEXO C REFLECCION ESPECULAR

Calcular las diferencias de color, luminosidad, saturación Y tono entre las películas de pintura de una muestra a ensayar X de una referencia a partir de sus coordenadas de color en un espacio de color CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ), ver la norma UNE 48-073/1).

**Nota 1 :** Se usa la abreviatura CIELAB para CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ).

Determinar las coordenadas de color  $L_T^*$ ,  $a_T^*$   $b_T^*$ , de la muestra a ensayar Y las coordenadas de color  $L_R^*$ ,  $a_R^*$ ,  $b_R^*$  de la muestra de referencia de acuerdo a la norma 8.602.8 (ver nota 2) bajo unas condiciones de medida que dependen de la información que se desea obtener:

- a) Si se quiere determinar la diferencia de color entre la muestra a ensayar Y la muestra de referencia, cuando dicha diferencia es resultante solamente de la diferencia de color entre los componentes coloreados ( por ejemplo, cuando deban describirse objetivamente cambios de color en pigmentos originados por envejecimiento) las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  han de calcularse a partir de los valores triestímulo medidos incluyendo la reflexión especular, tal como se describe en los apartados 4.1.1 0 4.2.1 de la norma 8.602.8.

Las medidas incluyen la reflexión superficial completa. Por lo tanto es necesaria una corrección matemática de los valores triestímulo medidos  $X_m, Y_m, Z_m$ , para evitar que las diferencias de color sean demasiado pequeñas debido a la curva de las funciones raíz cubica de  $f(X/X_n)$ ,  $f(Y/Y_n)$ ,  $f(Z/Z_n)$  empleadas en el calculo de  $L^*$ ,  $a^*$   $b^*$ . La corrección se hace usando las siguientes ecuaciones:

$$X=X_m-\rho_0 X_n, \quad Y=Y_m-\rho_0 Y_n, \quad Z=Z_m-\rho_0 Z_n$$

Donde:

$X_m, Y_m, Z_m$  : son los valores del triestímulo difusor reflectante perfecto. Ver tabla adjunta.

$\rho_0$  : es la reflectancia Fresnel (véase la publicación CIE nº38) y se le supone valor 0,04 en base a un índice de refracción  $n=1,5$  (nota:3).

**TABLA 8.602.8.D  
VALOR TRIESTIMULOS A 10° PARA EL DIFUSOR  
REFLECTANTE PERFECTO**

Valor triestímulo	Iluminante patrón	
	D 65	A
$X_m$	94,81	111,14
$y_m$	100,00	100,00
$Z_m$	107,34	35,20

**Nota 2:** Con los instrumentos actuales no es absolutamente necesario calcular las coordenadas de las muestras a ensayar puesto que las diferencias de color se calculan automáticamente a partir de los valores de referencia almacenados en el instrumento.

**Nota 3:** Cuando se hace la corrección para películas de pintura oscuras o altamente cromáticas puede ser adecuado emplear un valor mas preciso de  $\rho_0$ ; lo que debe manifestarse en el informe final. La eliminación matemática de la reflexión superficial afecta la correspondencia de las diferencias de color así obtenidas, con las que han sido vistas por un observador al examinar muestras, altamente reflectantes, con inclusión del brillo.

- b) Si se quiere determinar la diferencia de color entre la muestra a ensayar y la muestra de referencia, cuando dicha referencia sea resultante, tanto de la diferencia de color del material coloreado como de la diferencia de reflexión superficial (tal como se perciben de forma grosera la comparación visual conforme a la norma UNE 48-260), las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  han de determinarse excluyendo la reflexión especular, tal como se describe en los apartados 4.1.2 o 4.2.2 de la norma 8.602.8.

Si se realizan los métodos a) y b) se obtienen resultados comparables para películas de alto brillo. En todos los demás casos el grado de comparación de las diferencias de color usando ambos métodos dependerá de las diferencias de brillo entre las muestras a ensayar y las de referencia y de la construcción de la cabeza del fotómetro.



## **8.602.9 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE INFLAMACION DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Esta norma establece un método para determinar el punto de inflamación y combustión de los materiales termoplásticos utilizados para la demarcación de pavimentos cuyo punto de inflamación sea superior a 80°C.

La toma de muestra se realizará de acuerdo con el método 8.602.18.

### **2.- Referencias.**

- Método 8.302.9 Asfaltos: Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la Copa Abierta de Cleveland.

**3.- Fundamento del Método.** El ensaye consiste en calentar en forma regulada una copa con el material termoplástico, haciendo pasar periódicamente cerca de la superficie una pequeña llama de prueba, hasta que se produce el primer destello de inflamación de los vapores.

### **4.- Terminología.**

**4.1 Punto de Inflamación.** Temperatura en °C a la que se produce la primera ignición o destellos de los vapores desprendidos de la muestra.

**4.2 Punto de Combustión.** Temperatura a la cual se produce una ignición continua de 5 s como mínimo cuando se continúa el calentamiento de la muestra después del punto de inflamación.

### **5.- Aparatos.**

**5.1 Aparato Cleveland.** Su montaje, forma y dimensiones se describen en la lámina 8.602.9.A y consta de los siguientes elementos:

**5.1.1 Copa de Ensaye.** Con la forma y dimensiones de la lámina 8.602.9.C, será de bronce u otro material inoxidable y análoga conductividad térmica. Podrá ir provisto de mango.

**5.1.2 Placa de Calentamiento.** Una placa generalmente circular, de bronce, hierro, o acero, con la forma y dimensiones de la lámina 8.602.9.B, con un orificio centrado provisto de un rebaje para la colocación de la copa de ensaye, y recubierta por encima por una plancha aislante de amianto, salvo en la zona del asentamiento del vaso.

**5.1.3 Llama de Prueba.** El dispositivo para aplicar la llama de prueba puede ser de cualquier tipo. Se recomienda que termine en una boquilla de 1,6 mm de diámetro, provista de un orificio en su centro para la salida del gas de 0,8 mm de diámetro en que la luz de la llama se ajuste a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm. Este dispositivo estará montado de forma que permita el barrido fijo y alternativo de la llama de prueba sobre la muestra, describiendo una circunferencia de radio mínimo de 150 mm y con el centro del orificio moviéndose en un plano situado a menos de 2 mm del borde superior del vaso.

**5.1.4 Calentador.** La fuente de calor puede ser un mechero de gas o una lámpara de alcohol, aunque en ningún caso los gases de combustión o llama deben envolver el vaso de ensaye. Una fuente de calor muy adecuada puede ser un calentador eléctrico provisto de regulación de voltaje. En cualquier caso la fuente de calor se situará en el centro del orificio circular de la placa de calefacción, debiendo evitarse los sobre calentamientos locales.

**5.1.5 Pantalla de Protección.** Para evitar las corrientes de aire durante el ensaye, se utilizará una pantalla de base cuadrada abierta por delante.

**5.1.6 Termómetro.** Un termómetro para punto de inflamación, con las características prescritas en la Tabla 8.602.9.A.

**TABLA 8.602.9.A**  
**CARACTERISTICAS DEL TERMOMETRO**

ESCALA °C	GRADUACION °C	LONGITUD TOTAL MM	ERROR MAXIMO °C
-6 a 400	2	308	1 hasta 260°C 2 o más de 260°C

Nota: este termómetro corresponde con el 11-C de la norma ASTM E-1-83.

## 6.- Procedimiento.

**6.1 Preparación del Aparato.** El aparato Cleveland se colocará sobre una superficie firme y nivelada y en un lugar libre de corrientes de aire; se evitará mediante una pantalla si fuera preciso, que una luz fuerte incida directamente sobre la parte superior, impidiendo la correcta observación del punto de inflamación.

Limpie la copa de ensaye con un disolvente apropiado para quitar cualquier residuo o traza de ensayos precedentes.

A continuación, se enjuaga con agua fría y seca exponiéndolo algunos minutos a una llama, placa calefactora u horno, hasta que desaparezca cualquier traza de disolvente o de humedad. Enfíe la copa hasta una temperatura de mínimo 56°C más baja que la esperada para el punto de inflamación.

Mediante un soporte adecuado se monta el termómetro en posición vertical con la parte inferior del bulbo a 6,5 mm del fondo de la copa, en la posición que se indica en la lámina 8.602.9.B.

**6.2 Ensaye.** El material se calienta, si fuere preciso, hasta que tenga la fluidez adecuada para su vertido en el vaso. La temperatura de calentamiento debe ser como máximo de 100°C sobre la temperatura del punto de ablandamiento.

Llene la copa con la muestra de ensaye hasta que su menisco esté enrasado con la marca de llenado. Si se añade un exceso de muestra se puede eliminar éste con una pipeta en caliente, pero si se ha vertido algo en la parte exterior de la copa, se vacía y limpian completamente tanto la copa como las zonas manchadas del aparato, antes de proceder a un nuevo y correcto llenado. La superficie del material deberá estar libre de burbujas.

Encienda el mechero de prueba y se ajusta su llama para que tenga un diámetro comprendido entre 3 y 5 mm. Para comprobar su tamaño, puede montarse en el mismo aparato y en un lugar adecuado, una pieza de color claro y del tamaño que debe tener la llama.

Se comienza el calentamiento ajustándolo para conseguir una velocidad inicial de aumento de temperatura, entre 14 y 17 °C por minuto. Cuando se alcance una temperatura de unos 56°C por debajo del punto de inflamación previsto, se comienza a disminuir el calor para lograr que en los últimos 28°C la velocidad de elevación de temperatura sea solamente entre 5 y 6 °C por minuto.

A unos 28 a 30°C antes del punto de inflamación previsto, se comienza la operación de barrido sobre la muestra con la llama de prueba, repitiendo esta operación de manera regular, cada 2°C de aumento de temperatura. Este barrido se efectúa con un movimiento suave y uniforme, describiendo una circunferencia de 150 mm de radio, como mínimo. El centro de la llama de prueba deberá moverse en un plano horizontal y estará situado a una distancia no mayor de 2mm por encima del plano formado por el borde superior de la copa de ensaye. La llama de prueba se pasará en un solo sentido cada vez, y en el sentido opuesto la pasada siguiente, no debiendo tardarse en cada pasada más de un segundo.

Anote la temperatura leída en el termómetro cuando se produzca el primer destello en algún punto de la superficie de la muestra durante una pasada. No debe confundirse el verdadero destello que indica el punto de inflamación, con un halo azulado, que a veces rodea la llama de prueba.

Para determinar el punto de combustión, se continua calentando el material a la misma velocidad de 5 a 6 °C por minuto y se sigue igualmente pasando la llama de prueba cada 2 °C de elevación de temperatura. Se anota la temperatura leída en el termómetro a la que el material arde y mantiene la llama durante 5 s como mínimo.

**7.- Resultados.** Se observa y anota la presión atmosférica en el momento del ensaye, y si la presión barométrica real durante el tiempo de ensaye es menor que 715 mm de mercurio corrija el Punto de Inflamación y Punto de Combustión sumando los valores de la siguiente tabla:

**TABLA 8.602.9.B**  
**VALORES DE CORRECCION DEL**  
**PUNTO DE INFLAMACION Y PUNTO DECOMBUSTION**

Presión Barométrica mm de Mercurio	Corrección °C
715 – 665	2
664 – 610	4
609 – 550	6

**8.- Precisión.**

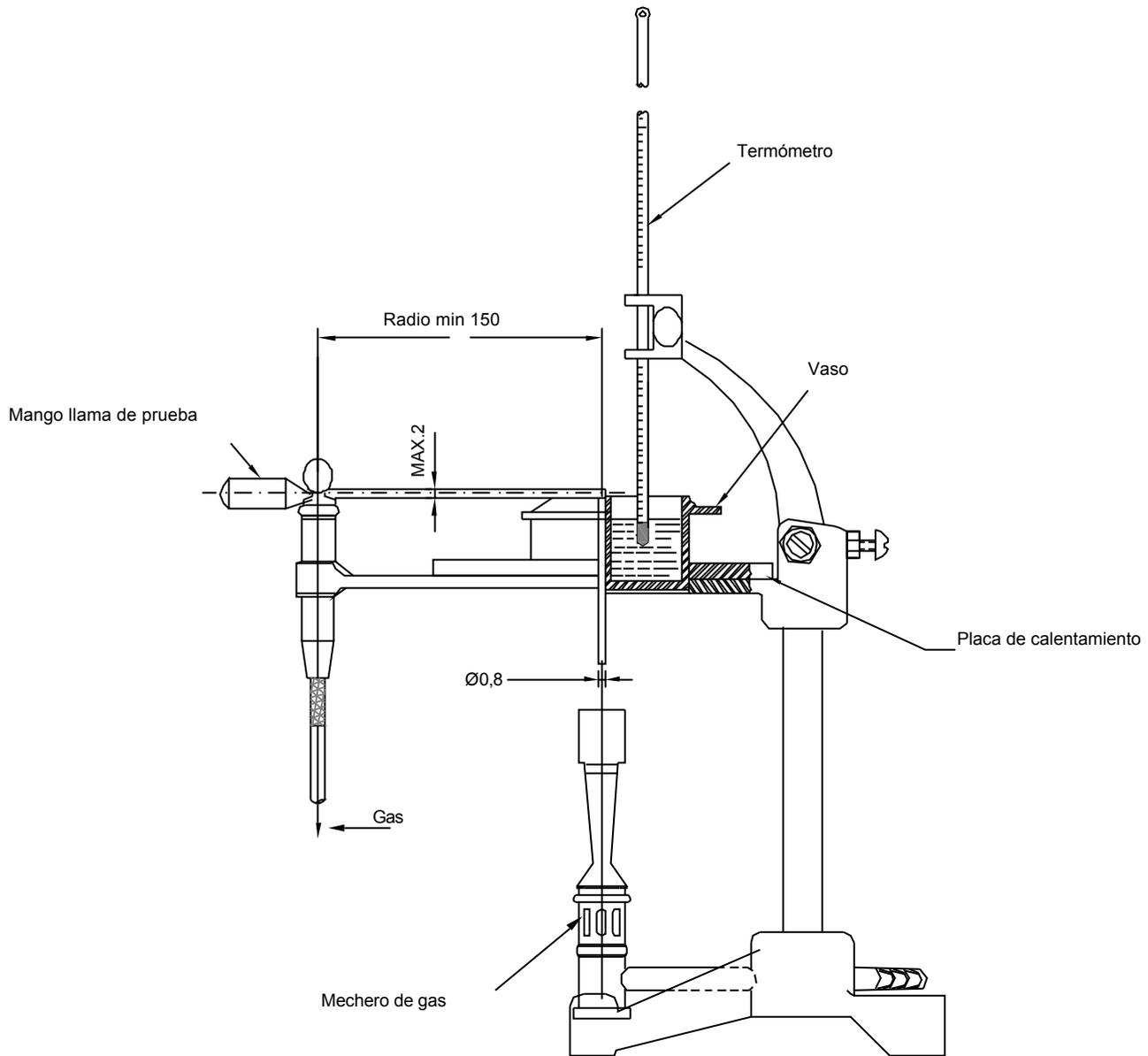
**8.1 Repetibilidad.** Los ensayes realizados por duplicado por un mismo operador y equipo y sobre una misma muestra se considerarán inaceptables si difieren en más de 8°C para cada uno de los puntos de inflamación y de combustión.

**8.2 Reproducibilidad.** Los resultados obtenidos por diferentes operadores y laboratorios sobre una misma muestra, se considerarán inaceptables si difieren mas de las siguientes cantidades:

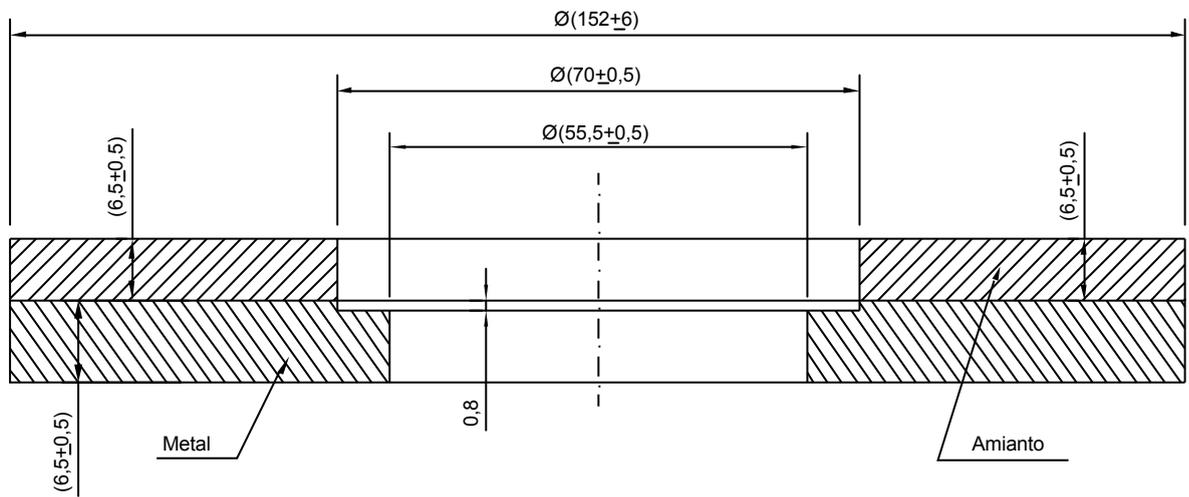
- Punto de inflamación 16°C
- Punto de combustión 14°C

**9.- Informe.** En el informe se hará constar las indicaciones siguientes:

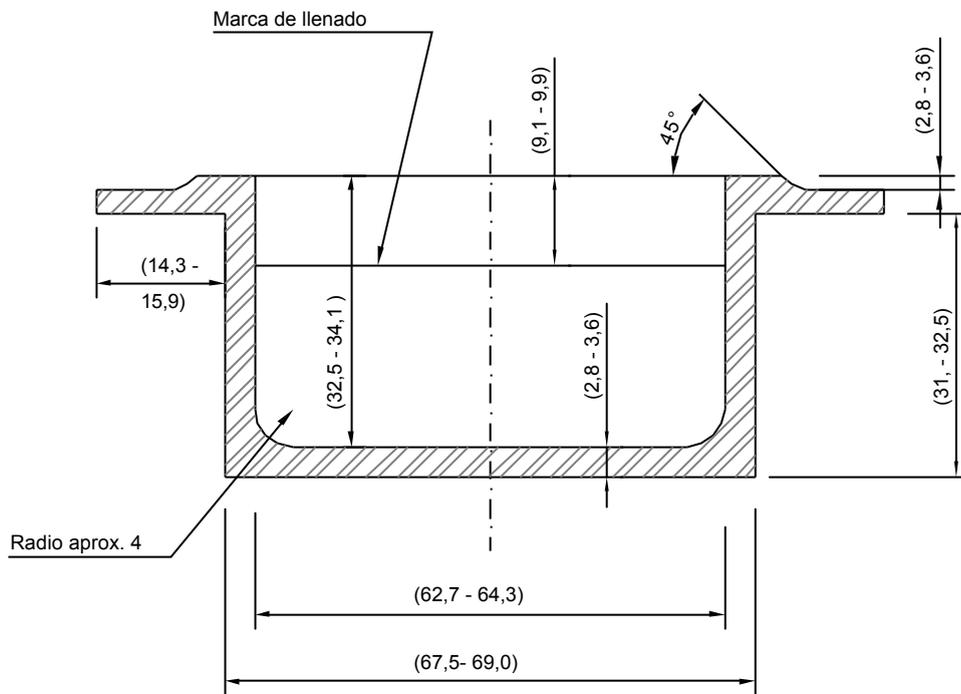
- a) Referencia a la presente norma.
- b) Tipo e identificación del producto objeto del ensaye.
- c) Resultado, obtenido según se indica en el punto 7.
- d) Toda modificación del Método respecto a lo establecido en esta norma.
- e) Fecha de ensaye.



Dimensiones en milímetros



Dimensiones en milímetros



Dimensiones en milímetros

## 8.602.10 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ESTABILIDAD AL CALOR DE MATERIALES TERMOPLASTICOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objetivo y Campo de Aplicación.** Este método tiene por finalidad describir el método para la determinación de la estabilidad al calor de los materiales termoplásticos de aplicación en caliente utilizados en la señalización horizontal.

El ensaye consiste en determinar la variación que experimenta el factor de luminancia ( $\beta$ ) del material termoplástico, después de realizado el ensaye.

### 2.- Referencias.

- UNE 135-221-94 Determinación de la estabilidad al calor.

### 3.- Aparatos.

**3.1 Baño Termostático.** Capaz de alcanzar 200 °C con precisión de  $\pm 2$  °C.

**3.2 Vaso de Precipitado.** De 110mm de altura y diámetro interno de 65 mm.

**3.3 Agitador de Paletas Eléctrico.** Dotado de cuenta revoluciones controlado a 150 rpm  $\pm 10$  rpm.

Características de las varillas del agitador:

- 6,5 mm de diámetro.
- Longitud adecuada del motor agitador.

Características de las paletas de la varilla agitadora:

- Hoja simple.
- Longitud: 40mm.
- Ancho: 30mm.

**3.4 Colorímetro.** Para la medida del factor de luminancia ( $\beta$ ) según 8.602.8, utilizando como observador patrón 2°, una geometría de medida 45/0 y una fuente de luz de distribución espectral como la dada por el iluminante CIE D65.

### 4.- Procedimiento.

**4.1 Toma de Muestra.** Se toma una muestra representativa del material termoplástico de 250 g aproximadamente (8.602.18 Seguridad Vial: Método de muestreo y control de los productos de señalización vial horizontal).

La muestra se funde en un recipiente metálico mediante el empleo de un baño de aceite. Una vez que el material se funde, el tiempo de calefacción no excederá los 30 minutos.

### 4.2 Ensaye.

- a) Se vierte la muestra en el vaso de precipitado y a continuación se coloca éste en el baño caliente, asegurándose que toda la muestra, una vez fundida, quede por debajo del nivel del líquido.
- b) Cuando la fluidez del material lo permita, se introduce el agitador a una profundidad de unos 15mm del fondo del vaso, ajustándose la temperatura a 200 °C  $\pm 2$ °C y regulando la velocidad del agitador a 150 rpm, manteniendo constante estas condiciones durante 6 horas.
- c) Transcurrido este tiempo, se saca el vaso del baño y se vierte su contenido en un molde limpio y plano de al menos 100 mm x 100 mm y 3 mm de alto. Los moldes deberán estar colocados sobre una superficie metálica cubierta con un papel siliconado.

- d) Se deja enfriar el material a temperatura ambiente, durante un mínimo de 2 horas y se mide el factor de luminancia ( $\beta$ ) en la superficie que ha estado en contacto con la superficie de papel siliconado, haciendo uso del colorímetro.
- e) Al mismo tiempo como referencia, con otra muestra equivalente, se habrán realizado todas las operaciones anteriores, excepto las 6 horas de calentamiento y agitación

**5.- Resultados.** La estabilidad al calor del material termoplástico de aplicación en caliente, viene dada por la diferencia entre el factor de luminancia ( $\beta$ ) obtenido en el material envejecido, no sufriendo, asimismo, defecto superficial alguno.

**6.- Informe.** El informe deberá incluir, al menos la siguiente información:

- a) Tipo e identificación de la muestra ensayada.
- b) Designación del colorímetro empleado.
- c) Cualquier desviación, acordada o no, respecto al procedimiento especificado.
- d) Resultado del ensaye, expresado como variación del factor de luminancia.
- e) Referencia a este Método.
- f) Fecha de ensaye.

## 8.602.11 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Objeto y Campo de Aplicación.** Esta norma especifica un método para determinar el comportamiento de las pinturas y barnices cuando se someten a envejecimiento acelerado por exposición a ciclos alternos de luz ultravioleta y oscuridad- condensación, en las condiciones del ensaye.

Este método de ensaye está dirigido a simular el deterioro causado por el agua y la energía ultravioleta de la luz solar, sobre las pinturas, barnices y otros materiales no metálicos; sin embargo, no pretende simular el deterioro que pudieran causar fenómenos atmosféricos locales tales como contaminación, agentes biológicos o la presencia de agua salada.

Los resultados obtenidos con este ensaye, que solamente tendrán valor de referencia cuando se consideren junto con las condiciones particulares de operación empleadas, no permiten predecir cuantitativamente el comportamiento real de los materiales bajo las condiciones naturales en función del lugar, época del año, proximidad al mar, etc.

### 2.- Referencias.

- UNE 48-251-92. "Pinturas y Barnices. Ensayo de envejecimiento acelerado. Método de exposición a ciclos alternos de luz ultravioleta y condensación".
- ASTM-D-4587. "Practice for conducting test on paint and related coating and materials using a fluorescent UV-Condensation Light-and water-exposure apparatus
- ASTM-G-53. "Practice of operating light-and water-exposure apparatus fluorescent UV condensation type for exposure of non metallic materials.

### 3.- Terminología.

**3.1 Radiación Incidente:** Energía que incide sobre una superficie, expresada en  $w/m^2$ , a todas las longitudes de onda. Las lámparas fluorescentes de 40 watt, de los tipos UV-B y UV-A, generan radiaciones similares pero distribuidas a diferentes longitudes de onda, por lo que los efectos fotoquímicos causados por dichas lámparas, son muy distintos para un tipo o el otro. La radiación incidente no debe ser usada para comparar entre sí las fuentes de luz ultravioleta.

**3.2 Emisión Espectral:** Distribución de energía en función de la longitud de onda. Se expresa en  $w/m^2$  por intervalo de longitud onda. La emisión espectral de la luz solar suele ser definida a intervalos de 10nm y la de las lámparas fluorescentes de UV, cada 1 ó 2nm. La emisión espectral es la magnitud correcta para comparar fuentes con diferentes distribuciones de energía.

**3.3 Distribución de Energía Espectral:** Término general para la caracterización de la cantidad de radiación presente a cada longitud de onda. Puede ser expresada como potencia en watt, como radiación incidente en  $w/m^2$  o como energía en joule. Las lámparas fluorescentes se definen frecuentemente por su distribución de energía espectral relativa que indica la cantidad de radiación a cada longitud de onda, como un porcentaje de la cantidad de radiación a la longitud de onda dominante. La Lámina 8.602.11.A representa la curva de distribución de energía espectral relativa típica de una lámpara fluorescente UV-B.

**3.4 Regiones del Espectro Ultravioleta:** El espectro ultravioleta se divide en tres regiones: UV-A: desde 315 nm hasta 400 nm:

- UV-B: desde 280 nm hasta 315 nm
- UV-C: radiaciones con longitud de onda inferior a 280 nm.

**3.5 Lámpara Fluorescente UV:** Lámparas de arco de mercurio a baja presión en las cuales la radiación a 254 nm es transformada en otra de mayor longitud de onda mediante un recubrimiento de fósforo. La distribución de energía espectral de una lámpara fluorescente UV viene determinada por el espectro de emisión del fósforo y por la transmisión UV del tubo de vidrio.

#### 4.- Aparatos.

**4.1** Probetas de 150 mm x 75 mm, o de 300 mm x 75 mm, de las características que se especifiquen en cada caso. Cuando se empleen probetas de materiales aislantes (madera, plásticos, etc.) tendrán un espesor máximo de 20 mm para no impedir la transferencia de calor con el exterior, necesaria para conseguir la formación de condensado sobre la superficie expuesta a ensaye.

**4.2** Aparato para envejecimiento acelerado, por exposición a ciclos alternos de luz ultravioleta/oscuridad con condensación, que consiste esencialmente en una cámara (véase Lámina 8.602.11.B), construida con material resistente a la corrosión, equipada en su interior con 8 tubos fluorescentes de luz UV dispuestos de cuatro en cuatro en dos planos, paralelos a los soportes de las probetas que actúan a su vez como paredes de la cámara.

- La base de la cámara va provista de una resistencia de inmersión y sirve como depósito del agua empleada para alcanzar el grado de humedad relativa apropiado para producir condensación sobre la superficie de las probetas durante los períodos de oscuridad; el nivel de agua es mantenido constante (mínimo 25 mm) mediante una válvula automática de entrada.
- La base estará comunicada con la zona de exposición mediante una serie de ventanas regularmente distribuidas, a través de las cuales se aportará aire renovado para impedir el empobrecimiento en oxígeno del condensado.
- Las puertas del aparato, necesarias para aislar la radiación ultravioleta y evitar las corrientes de aire sobre las probetas, irán montadas de forma que no impidan una cierta circulación del aire exterior necesaria para la refrigeración del reverso de las probetas durante los períodos de oscuridad.
- Las lámparas serán de una longitud de 1 220 mm y la luz producida cumplirá con la curva de distribución de energía espectral relativa representada en la Lámina 8.602.11.A (intensidad máxima a 313 nm y 1% de dicho máximo a 280 nm). La potencia nominal será de 40 watt cuando operen con 430 mA y 102 volt. La distancia entre los centros de dos tubos consecutivos será de 70 mm (véase Lámina 8.602.11.B). Los tubos fluorescentes normales de 40 watt serán de luz azulada.
- Los soportes para las probetas, de 1154 mm x 330 mm, deberán quedar dispuestos en planos paralelos a los correspondientes de la serie de cuatro tubos más próxima, de forma que las probetas alojadas en ellos se encuentran a una distancia de 50 mm de los tubos. Siempre que sea posible las probetas se montarán en la zona central del soporte dentro de un área de 210 mm de alto por 900 mm de ancho, dado que las zonas más alejadas del centro queden expuestas a radiaciones UV de menor intensidad. En el caso de ser necesario colocar muestras fuera de esta área, deberá establecerse un plan de rotación de las probetas para asegurar una homogénea radiación sobre todas ellas.

El aparato deberá disponer al menos de los siguientes controles:

- a) Programador de ciclos para seleccionar los tiempos de cada período (luz UV/oscuridad-condensación).
- b) Contadores del tiempo total de operación y del tiempo de funcionamiento de las lámparas.
- c) Selectores independientes de temperatura para los períodos de luz y oscuridad.
- d) Control de temperatura que permita mantener las temperaturas de equilibrio programadas, para cada período, con una tolerancia de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .
- e) Sistema para la medida de la "temperatura de cuerpo negro" que consistirá en un termómetro de tipo bimetálico conectado a una probeta de aluminio, de 2,5mm de espesor pintada con dos capas de un esmalte negro razonablemente resistente a las condiciones del ensaye y que irá colocada en el centro de uno de los soportes para las probetas. El termómetro permitirá realizar las medidas desde el exterior de la cámara con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  en el intervalo de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ .

El aparato deberá ubicarse en un área mantenida de temperatura entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  medida mediante termómetros situados a 1500 mm sobre el nivel del suelo y separados un mínimo de 300 mm de cualquier fuente de calor. Debe evitarse colocar el aparato a menos de 300 mm de otros aparatos generadores de calor que podrían evitar el enfriamiento de las probetas durante los períodos de oscuridad, necesario para la formación de condensado. La habitación donde se encuentre el aparato deberá disponer

de un sistema de ventilación suficiente para evitar un incremento excesivo de la temperatura y de la humedad relativa (una ventilación que suponga dos renovaciones del aire por hora se considera suficiente).

## 5.- Calibración y Mantenimiento.

**5.1** El termómetro del “cuerpo negro” deberá calibrarse frente a un termómetro patrón, por comparación de sus lecturas cuando ambos son sumergidos en un baño de agua a una temperatura de 70°C aproximadamente.

**5.2** La apropiada formación de condensado durante los períodos de oscuridad, puede ser comprobada a través de una probeta de vidrio o de cualquier material plástico transparente colocada al objeto en el portaprobetas.

**5.3** La vida media, en condiciones de servicio, de los tubos fluorescentes de luz ultravioleta que se emplean según este método es de 1600 h a 1800 h de operación, transcurridas las cuales deben ser sustituidos. El procedimiento a seguir será el indicado esquemáticamente en la Lámina 8.602.11.C y se realizará cada 400 h-450 h de funcionamiento de los tubos.

**5.4** Coincidiendo con la rotación y sustitución de los tubos, se procederá a renovar totalmente el agua de la base de la cámara por agua limpia.

## 6.- Procedimiento.

**6.1** Se preparan probetas (5.1) por triplicado, dejando una como referencia, siguiendo en cada caso las instrucciones indicadas a continuación:

- a) Pinturas. Aplicar un espesor de película húmeda de pintura de  $350 \mu\text{m} \pm 35\mu\text{m}$ , mediante un aplicador tipo Doctor Blade, sobre una probeta de aluminio de aproximadamente 150 mm·75mm·0,6 mm, previamente desengrasada con disolvente, y dejar secar durante 7 días en posición horizontal a  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa y protegida de la radiación solar directa. Antes de realizar el ensaye de envejecimiento acelerado, medir el color y el factor de luminancia (Método 8.602.8).
- b) Termoplásticos de aplicación en caliente. Aplicar una película de material mediante un extendedor adecuado a un rendimiento aproximado de  $2600 \text{ g/m}^2$ , sobre una probeta de aluminio de aproximadamente 150 mm·75mm·0,6mm, previamente desengradada con disolvente y mantener durante 24 horas en posición horizontal  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa y protegida de la radiación solar directa y polvo. Antes de realizar el ensaye de envejecimiento acelerado, medir el color y el factor de luminancia (Método 8.602.8).

**6.2** Se programa el ciclo especificado en cada caso y se ajustan los controles de temperatura para obtener las temperaturas de equilibrio deseadas.

Programa: Se aplicará un ciclo de 168 horas , en ciclos de 8 horas de radiación UV de longitud de onda comprendida entre 280 nm y 315 nm a  $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  y 4 horas de condensación a  $50^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ .

**Nota 1:** El empleo, durante los períodos de luz UV, de temperaturas demasiado elevadas respecto de las que pudieran alcanzarse en una exposición natural, puede causar una degradación térmica anormal de la película.

**6.3** Se montan las probetas en el soporte procurando emplear las ventanas situadas en el área central de 210 mm por 900 mm definida en 5.2 y se tapan los huecos restantes colocando probetas de aluminio u otro material apropiado, para poder mantener las condiciones de temperatura y humedad relativa requeridos en el interior de la cámara.

**6.4** Se programa el tiempo total de operación deseado, se pone en marcha el aparato y una vez alcanzado el equilibrio en ambos períodos (luz y oscuridad) se comprueba que las temperaturas del panel negro son las requeridas, con una tolerancia de  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

**6.5** El ensaye será continuo en toda su duración, sin más interrupciones que las necesarias para la inspección periódica de las probetas y operaciones de mantenimiento del aparato (5).

**7.- Mediciones.** Una vez finalizado los ciclos se mide nuevamente color y factor de luminancia (método 8.602.8).

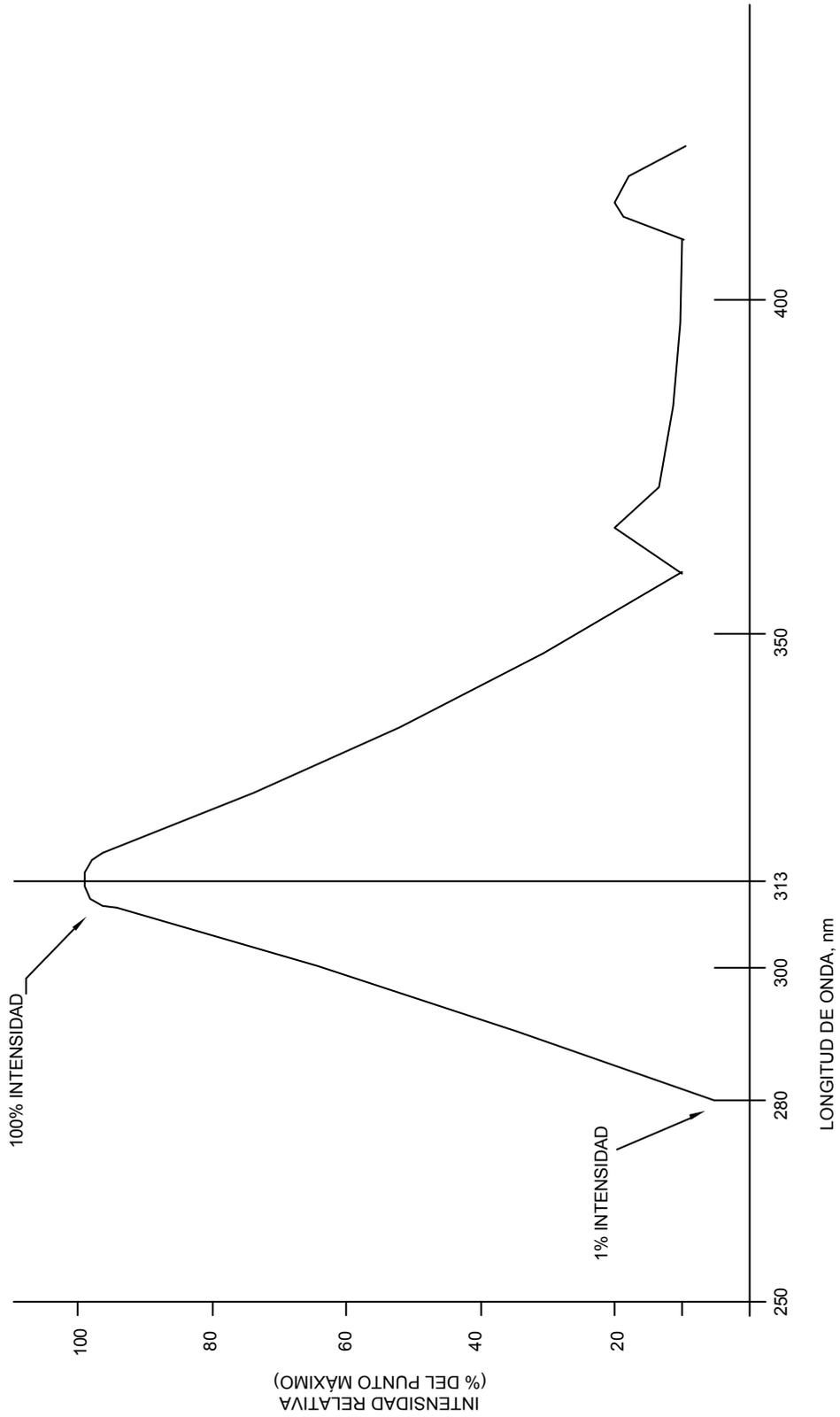
**8.- Resultados.** Se considera que la muestra supera el ensaye cuando, una vez finalizado el período de exposición, sus características permanezcan dentro de los límites establecidos en la especificación correspondiente o previamente acordados entre las partes interesadas.

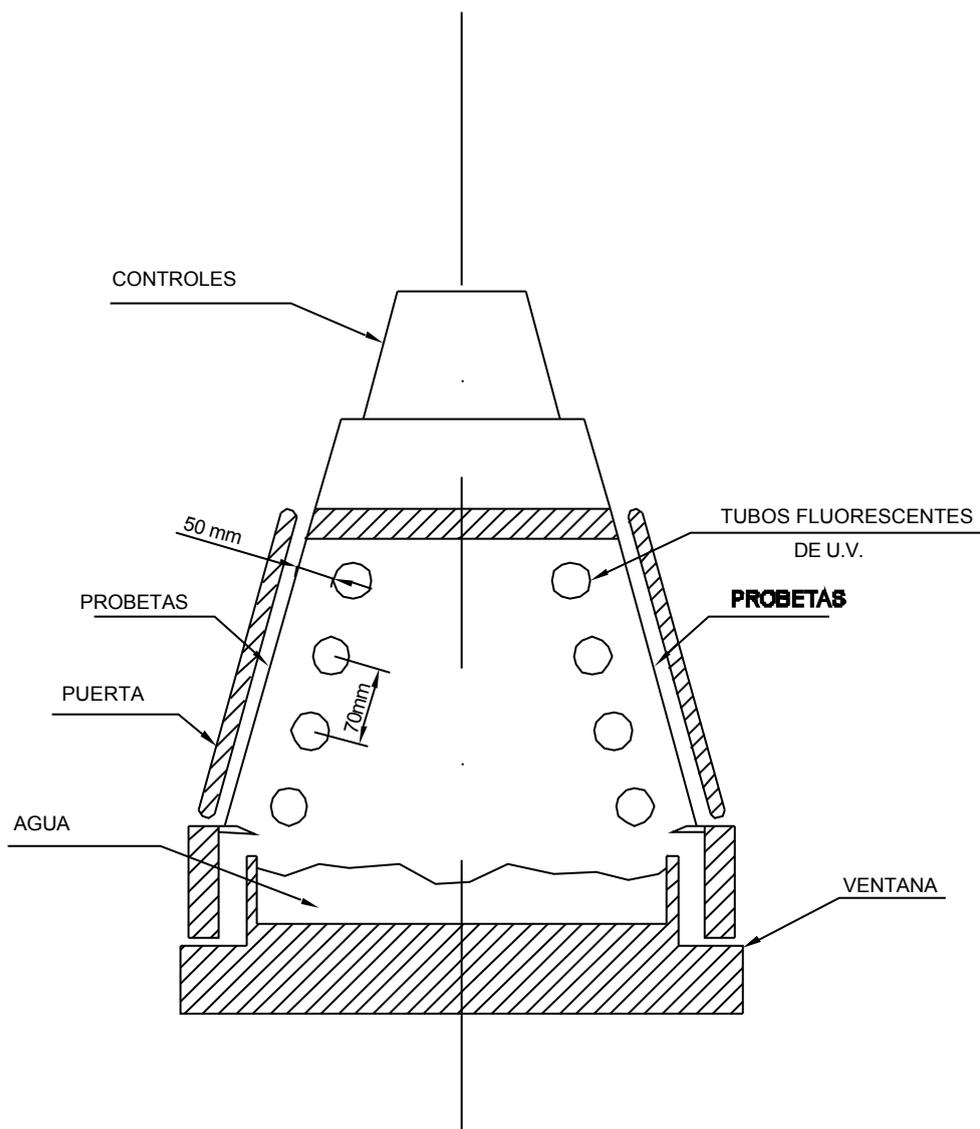
**Nota 2:** Las degradaciones más frecuentes que este ensaye puede producir en películas de pinturas, son:

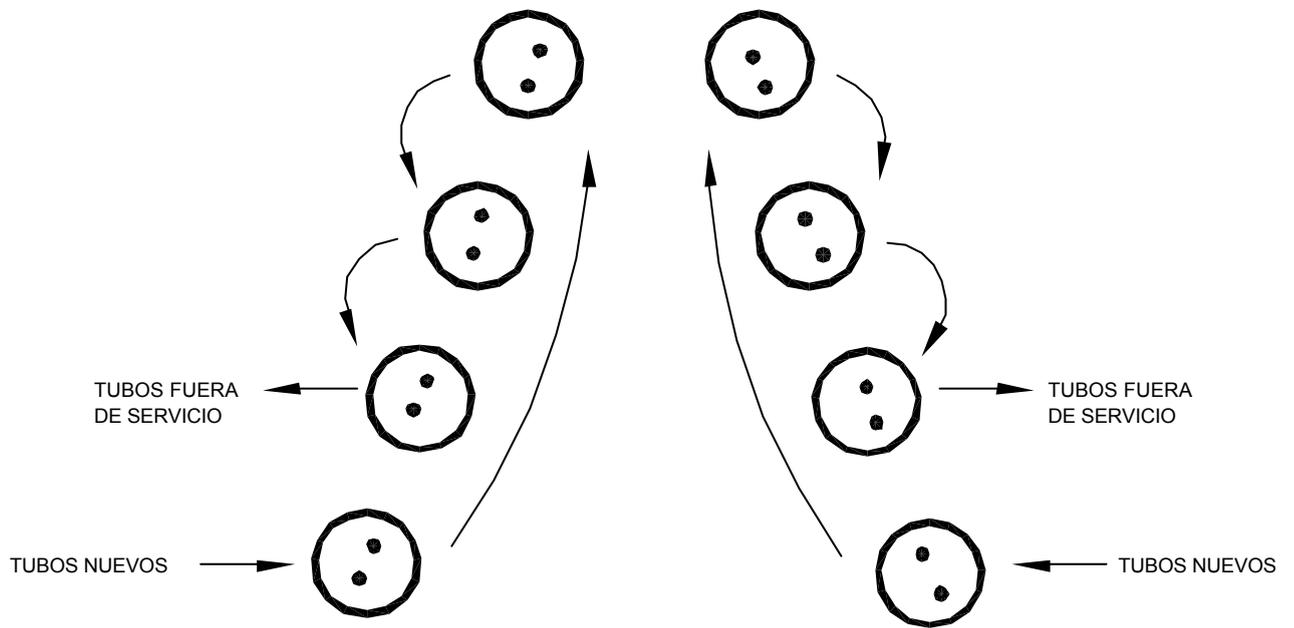
- Pérdida de brillo
- Variación de color
- Caleo: formación de polvillo blanco en la superficie recubierta.
- Formación de grietas (cuarteamiento)
- Pérdida de adherencia y/o desprendimiento
- Formación de ampollas

**9.- Informe.** En el informe se harán constar las siguientes informaciones:

- a) Referencia a esta norma.
- b) Tipo e identificación de la muestra ensayada.
- c) Tipo y modelo del aparato.
- d) Tipo y modelo de las lámparas, especificando su distribución espectral de energía para lo cual se indicarán longitudes de onda, en nm, correspondientes al punto a la máxima intensidad de emisión y al límite espectral inferior donde la emisión sea el 1% de la producida en el punto máximo (por ejemplo: "fs-40, 313/280 nm).
- e) Ciclo empleado (por ejemplo, 8h UV a 70°C/4h CON a 50°C).
- f) Tiempo total de exposición.
- g) Resultados de la evaluación de las degradaciones sufridas.









## 8.602.12 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA ENSAYE DE FLEXIBILIDAD MEDIANTE MANDRIL CILINDRICO PARA PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método es utilizado para evaluar la flexibilidad de los recubrimientos aplicados sobre sustratos flexibles.

Este método permite determinar la resistencia al agrietamiento o flexibilidad de los recubrimientos orgánicos adheridos a láminas metálicas o a materiales elastoméricos.

**Nota 1:** Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con el uso y aplicación del método. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer, antes de su uso, las prácticas de seguridad y las precauciones adecuadas para resguardar la salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones normativas o reglamentarias que proceden.

**2.- Referencias.** Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que, a través de referencias en el texto de la norma, constituyen requisitos de la norma.

- Nch2132 Revestimientos orgánicos adheridos - Pinturas y lacas - Determinación de la flexibilidad - Método de doblado sobre un mandril.
- Nch1007 Pinturas – Determinación del espesor de película seca.
- ASTM D-823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels.
- ASTM D-1005 Test Methods for Measurement of Dry-Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers.
- ASTM D-1186 Test methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base.
- ASTM D-1400 Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonconductive Coatings Applied to a Nonferrous Metal Base.
- EN-ISO1519:1995 Paints and Varnishes-Bend Test (Cilindrical Mandel)

**3.- Alcance y Campo de Aplicación.** Esta norma establece un método para la determinación de la resistencia al agrietamiento o flexibilidad de los recubrimientos orgánicos adheridos a láminas metálicas o a materiales elastoméricos.

**4.- Resumen del Método.** Los recubrimientos que se ensayan, se aplican sobre soportes estandarizados, metálicos o elastoméricos, de espesor uniforme.

Después de secado o curado, los soportes recubiertos se someten a doblado sobre un mandril cilíndrico y se determina la resistencia al agrietamiento o flexibilidad del recubrimiento aplicado.

### 5.- Terminología.

**Elasticidad:** una de las capacidades generales de los cuerpos sólidos, en virtud de la cual recobran más o menos completamente su extensión y figura, tan pronto como cese la acción de la fuerza que los alteraba.

**Flexibilidad:** capacidad de un cuerpo a doblarse sin perder sus propiedades.

**6.- Aparatos.** Mandril cilíndrico: consiste en un juego de 6 barras o superficies cilíndricas de acero de diámetro de: 3,2 mm; 6,4 mm; 9,5 mm; 12,7 mm; 19 mm y 25 mm (ver Lámina 8.602.12.A).

## 7.- Procedimiento de Ensaye.

### 7.1 Preparación del Soporte.

- a) Si el propósito del ensaye es determinar el porcentaje de alargamiento del recubrimiento, el soporte debe ser una banda de acero laminado en frío, de 0,8 mm de espesor.
- b) Si el propósito del ensaye es evaluar la resistencia al agrietamiento del recubrimiento, el soporte puede ser cualquier tipo de lámina metálica o material del tipo elastomérico, con espesores máximos de 0,8 mm y 13 mm respectivamente.
- c) El tamaño recomendado del soporte es de 100 mm de ancho y 150 mm de longitud.
- d) La preparación del soporte debe hacerse de acuerdo a las especificaciones técnicas dadas por el fabricante del recubrimiento.
- e) Antes de la aplicación del recubrimiento, redondear ligeramente los bordes del panel metálico, para suprimir rebajas, con el objetivo de eliminar efectos anómalos de bordes.

### 7.2 Aplicación del Recubrimiento.

- a) Aplicar al soporte un recubrimiento uniforme del material bajo ensaye, siguiendo las indicaciones que se recomiendan en ASTM D-823.

**Nota 2:** La norma ASTM D-823 especifica cinco métodos de aplicación de pinturas sobre sustratos metálicos con el objetivo de obtener una película de espesor uniforme.

- b) Si el propósito del ensaye es determinar el porcentaje de alargamiento, aplicar un recubrimiento de espesor seco igual o mayor a 25  $\mu$  m.
- c) Secar la muestra de acuerdo a las condiciones previamente acordadas entre las partes
- d) Determinar el espesor de película seca, mediante NCh 1007, o según los métodos ASTM D-1005; D-1186 o D-1400.

### 7.3 Acondicionamiento de las Muestras y Cantidad de Ensayes.

- a) Acondicionar las muestras para ensaye por un período de 24 horas manteniéndolas a una temperatura de 23°C  $\pm$  2°C, en un ambiente de 50%  $\pm$  5% de humedad relativa; ensayar en dicho ambiente o inmediatamente después que se retire de él, a menos que se haya acordado otra disposición.
- b) Ensayar las muestras en duplicado por cada diámetro de cilindro.

7.4 **Ensaye.** Escoger el diámetro de mandril que establecen las especificaciones del producto y si éstas no existen, iniciar el ensaye con la barra de diámetro mayor.

- a) Colocar el panel que se ensaya sobre el mandril, con la cara sin recubrimiento en contacto con la barra, dejando a lo menos 50 mm libre a cada extremo.
- b) Usando una presión firme y estable de los dedos, doblar el panel sobre el mandril hasta alcanzar aproximadamente 180°, con una velocidad uniforme, en un tiempo de 15 s, a menos que se haya acordado un tiempo alternativo entre las partes.
- c) Retirar la muestra y examinarla inmediatamente, para comprobar la ausencia o presencia de grietas.
- d) Si no se aprecia agrietamiento, repetir el procedimiento que se indica en letras (a) a (c), usando sucesivamente las barras de diámetros menores al inicial, en áreas del panel de ensaye que no fueron ensayadas previamente, hasta que aparezca alguna falla en la película o hasta que se use la barra de menor diámetro.

## 8.- Resultados.

8.1 Este procedimiento puede aplicarse como un ensaye "pasa - no pasa", para determinar si se produce agrietamiento en un mandril de diámetro especificado.

**8.2** El valor de resistencia al agrietamiento del recubrimiento, se toma como el diámetro de la barra al cual no se produce agrietamiento.

**8.3** Determinar el intervalo de alargamiento del material a partir de la Tabla 8.602.12.A, en la cual se presenta el alargamiento para un recubrimiento de 25  $\mu$  m de espesor sobre una lámina de acero laminado en frío de 0,8 mm, en función del diámetro del mandril.

**TABLA 8.602.12.A**  
**ALARGAMIENTO Y FACTOR DE CORRECCION**

DIAMETRO DE MANDRIL, MM	ALARGAMIENTO PORCENTUAL <sup>1)</sup>	FACTOR DE CORRECCION <sup>2)</sup>
25	3,3	0,21
19	4,4	0,26
12,7	6,75	0,38
9,5	9,0	0,50
6,4	14,0	0,71
3,2	28,0	1,40

1) Porcentaje de alargamiento para espesor de 25  $\mu$  m  
2) Factor de corrección para espesor que excede de 25  $\mu$  m

**8.4** Si el espesor de recubrimiento aplicado a la lámina excede de 25  $\mu$  m, el valor de alargamiento porcentual que se obtiene por la Tabla 8.602.12.A debe corregirse con el factor de corrección que aparece en la misma tabla, calculando el alargamiento corregido por medio de la fórmula siguiente:

$$E = e_1 + t \times c_1$$

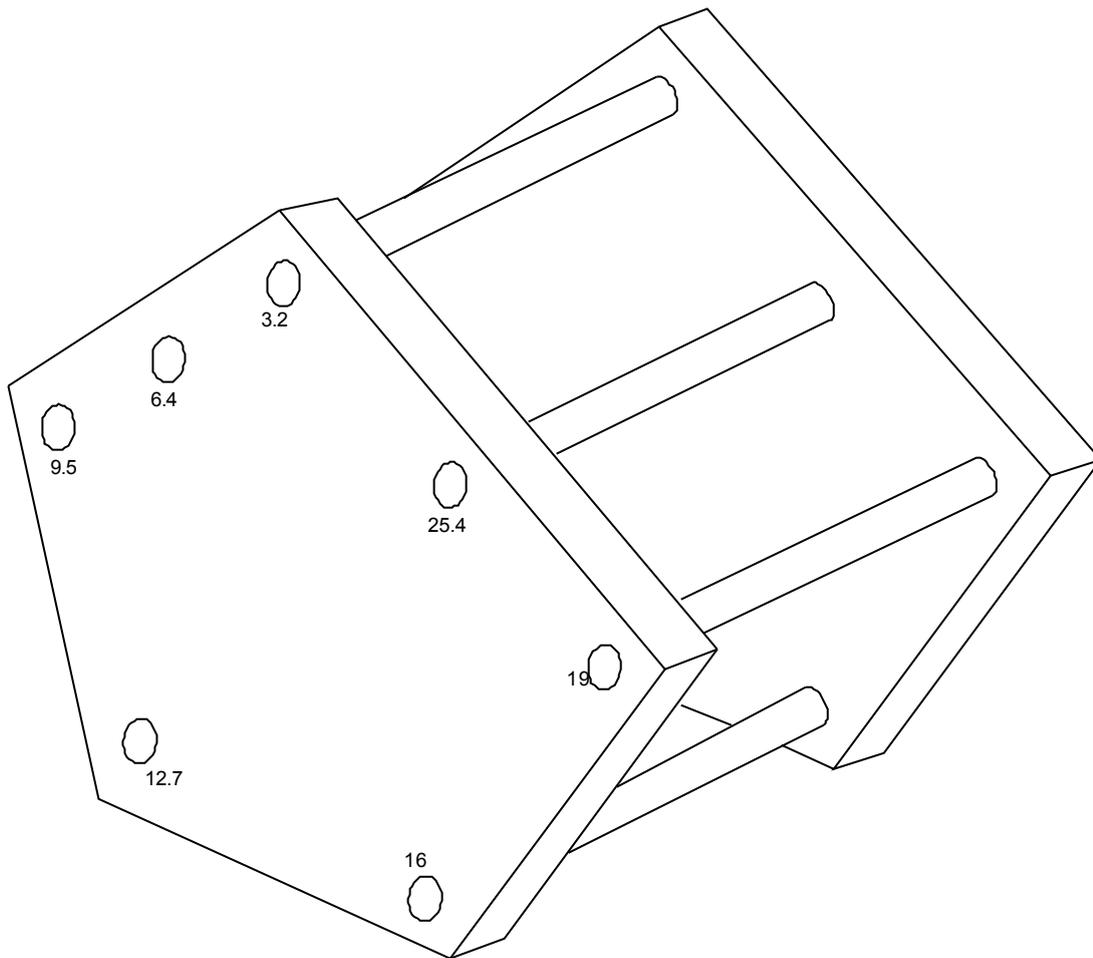
donde:

- E : Porcentaje de alargamiento final;
- e<sub>1</sub> : Porcentaje de alargamiento según la Tabla 8.602.12.A;
- t : Espesor efectivo medido,  $\mu$  m;
- c<sub>1</sub> : Factor de corrección según la Tabla 8.602.12.A.

**9.- Informe.** Informe las características siguientes:

- a) Identificación de la muestra y Método de ensaye.
- b) Preparación de la muestra.
- c) Condiciones ambientales utilizadas en el acondicionamiento de los paneles de ensaye.
- d) Espesor seco de la película de recubrimiento en cada muestra, y promedio obtenido.
- e) Diámetro de los mandriles y número de determinaciones efectuadas.
- f) Valores de alargamiento o de resistencia al agrietamiento y promedio de ellos.
- g) Fecha de recepción de la muestra, fecha de preparación del panel y fecha de ensaye.
- h) Observaciones.

**10.- Precisión y Sesgo.** No se conocen resultados que permiten determinar la precisión de este Método de ensaye, el que ha estado en uso por muchos años y se considera aceptable para la evaluación de la resistencia al agrietamiento de los recubrimientos orgánicos adheridos a sustratos.



Dimensiones en mm.

### 8.602.13 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE MICROESFERAS DE VIDRIO DEFECTUOSAS

**1.- Alcance y campo de aplicación.** Define un método de ensaye para la determinación del tanto por ciento de microesferas de vidrio defectuosas, utilizadas en la señalización vial horizontal.

#### 2.- Referencias.

- UNE-EN 1423: Materiales para señalización vial horizontal. Materiales de postmezclado. Microesferas de vidrio. Granulados antideslizantes y mezcla de ambos.
- MELC 12.30 : Determinación del tanto por ciento de microesferas de vidrio defectuosas utilizadas en la señalización de carreteras”.
- UNE 135287: 1999 EX Equipamiento para la señalización vial, Señalización horizontal. Microesferas de vidrio Granulometría y % de defectuosas.

**3.- Aparatos.** El equipo instrumental necesario, así como los materiales que se precisan para llevar a cabo el ensaye, son los siguientes:

**3.1 Reductor.** De muestra tipo Tyler 16 a 1 y cuarteadores 1 a 1.

**3.2 Proyector.** Equipado con objetivos y lentes para conseguir, al menos, 25 aumentos, colocado a una distancia tal que proporcione una imagen en pantalla de un diámetro entre 750 mm y 800 mm.

**3.3 Cápsula Petri de Fondo Plano.** Con diámetro interior entre 60 y 70 mm, o una plaqueta de vidrio (porta-objetos), de una superficie mínima de 700 mm<sup>2</sup>.

**3.4 Pantalla Cuadrículada.** De 500 mm de lado dividida en cuadrados de 100 mm de lado, según se muestra en la Lámina 8.602.13.A.

**3.5 Líquido.** Con un índice de refracción similar al de las microesferas de vidrio.

**3.6 Grasa de Silicona o Similar.**

#### 4.- Procedimiento.

**4.1** Cuando la muestra inicial tiene una masa superior a 10 kg, se prepara una muestra representativa por reducciones de la muestra inicial utilizando el reductor Tyler 16 a 1, hasta obtener una cantidad comprendida entre 1 y 2 kg, continuando con reducciones sucesivas mediante el empleo de cuarteadores 1 a 1 hasta obtener una muestra de masa aproximada a 0,3 g.

Si la muestra inicial tiene una masa inferior a 10 kg, se prepara una muestra representativa mediante reducciones sucesivas con cuarteadores Tyler 1 a 1, hasta obtener una masa aproximada a 0,3 g.

La muestra así obtenida, se coloca dentro de la cápsula, impregnada previamente con una fina capa de grasa de silicona, distribuyéndola uniformemente en una sola capa, o sobre una cinta adhesiva transparente en una plaqueta de vidrio de las dimensiones establecidas en 3.3, de tal manera que cuando se examina con el equipo proyector, la pantalla cuadrículada quede completamente cubierta por la imagen de las microesferas de vidrio.

**4.2** Se realizará una proyección de una zona escogida aleatoriamente efectuando el recuento del número total de microesferas en tres cuadros alternos, tomados en diagonal. El número obtenido se multiplica por 25 y se divide por 3. Este resultado se tomará como el número total de microesferas representadas en la parte cuadrículada de la pantalla, el cual debe estar comprendido entre 150 y 400. Si no se alcanzara este número en una sola proyección, se deberán realizar proyecciones de otras zonas, hasta alcanzar el número de esferas necesario.

**4.3** Posteriormente, se procede a un segundo recuento del número de microesferas defectuosas no esféricas existentes en toda la cuadrícula de cada proyección.

La muestra se cubre con el líquido de índice de refracción similar al de las microesferas. En estas condiciones se verá solamente la silueta de las mismas y las burbujas de aire que aparecen como manchas negras. Se hace un tercer recuento en toda la cuadrícula de las microesferas que presentan manchas negras cuya superficie total sea de una magnitud superior al 25% de su superficie.

Se consideran también como defectuosas las microesferas de vidrio opalescentes, opacas, rotas, con ángulos agudos, con forma no esférica o soldadas entre sí.

Las microesferas defectuosas sólo se contarán una vez, aunque posean varios defectos.

**5.- Resultado.** El tanto por ciento de microesferas defectuosas se calculará con la siguiente fórmula:

$$Md = \frac{Nmd}{Nm} \times 100$$

donde:

Md : Es el tanto por ciento de microesferas de vidrio defectuosas.

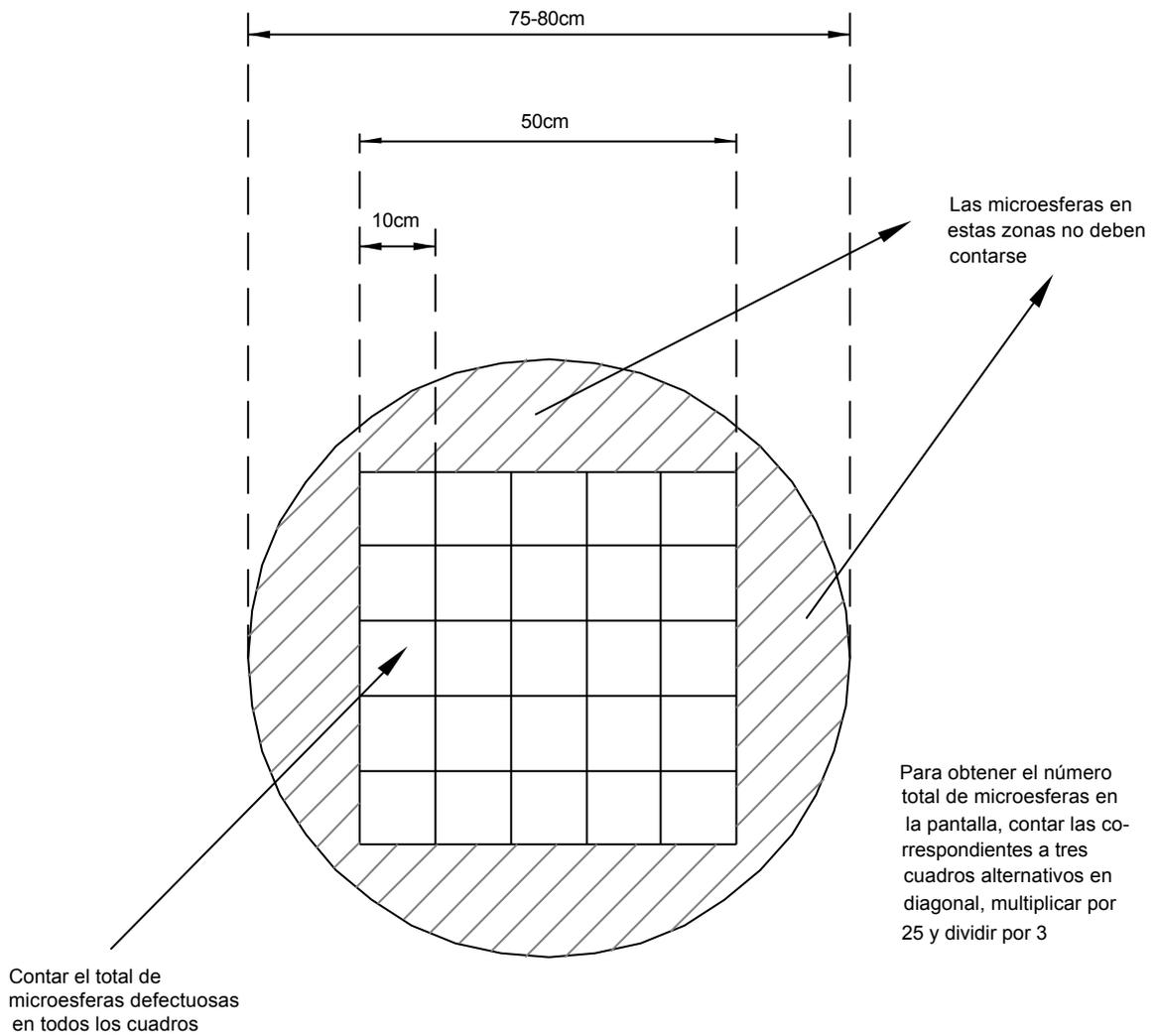
Nmd : Es el número de microesferas de vidrio defectuosas, resultante de la suma de las obtenidas en los dos recuentos.

Nm : Es el número total de microesferas de vidrio.

El resultado final de Md será la medida aritmética de, al menos, tres determinaciones.

**6.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra.
- c) Porcentaje de microesferas defectuosas.
- d) Fecha de ensaye.
- e) Observaciones.





## **8.602.14 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE DE LA RESISTENCIA DE MICROESFERAS DE VIDRIO A LOS AGENTES QUÍMICOS**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Se establecen métodos de ensaye que permiten determinar la resistencia al agua, a los ácidos y a la disolución 1 N de cloruro cálcico, de las microesferas de vidrio utilizadas en marcas viales para la señalización horizontal de carreteras.

### **2.- Referencias**

- UNE 135-284-94. Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Microesferas de vidrio. Determinación de la resistencia a los agentes químicos.
- MELC 12.29, Determinación de la resistencia a los agentes químicos de las microesferas de vidrio utilizadas en la señalización de carreteras.

### **3.- Aparatos y Reactivos**

#### **3.1 Matraz.**

#### **3.2 Refrigerante de reflujo**

#### **3.3 Baño de aceite**

#### **3.4 Termómetro**

#### **3.5 Embudo y papel filtro** cuantitativo de velocidad media y porosidad N°42 ó similar.

#### **3.6 Fenolftaleína**

#### **3.7 Estufa**

#### **3.8 Microscopio**

#### **3.9 Solución buffert**

### **4.- Resistencia al Agua**

**4.1 Procedimiento.** En un matraz de fondo redondo se colocan 10 g de microesferas de vidrio y 100 ml de agua exenta de dióxido de carbono. Se acopla al matraz un refrigerante de reflujo y se calienta el agua a ebullición durante una hora, utilizando un baño de aceite, cuya temperatura se mantendrá en  $116^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Una vez finalizado el período de calentamiento, se separa el agua de las microesferas por filtración y el líquido recogido se deja enfriar a temperatura ambiente, en un matraz provisto de un tapón de corcho. Finalmente, se añaden unas gotas de fenolftaleína como indicador y se valora con una solución de ácido clorhídrico 0,1 N.

Simultáneamente a la realización del ensaye, se realiza una prueba en blanco utilizando 100 ml de agua.

**4.2 Resultado.** El resultado del ensaye viene dado por la diferencia entre el volumen de la solución de ácido clorhídrico 0,1N empleado en la neutralización del agua proveniente de las microesferas y de la prueba en blanco.

Las microesferas separadas en la filtración se secan en una estufa a  $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , y se observan seguidamente por un microscopio para determinar si ha habido ataque a la superficie de las mismas.

## 5.- Resistencia a los Acidos.

**5.1 Procedimiento.** Se sumergen 10g de microesferas de vidrio en una solución diluida de un ácido 0,1N de ácido clorhídrico, estabilizada mediante una solución buffert a un pH comprendido entre 5,0 y 5,3, manteniéndose sumergidas durante 90 h a temperatura ambiente. Una vez transcurrido este tiempo, se decanta la solución ácida.

**5.2 Resultado.** Las microesferas así separadas se secan en una estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , y se observan mediante un microscopio para comprobar si su superficie muestra señales de haber sido dañada.

## 6.- Resistencia a la Solución 1N de Cloruro Cálcico.

**6.1 Procedimiento.** Se colocan 10 g de microesferas de vidrio en 100 ml de una solución 1N de cloruro cálcico a la temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , y se mantienen sumergidas durante tres horas. Transcurrido este tiempo se decanta la solución salina.

**6.2 Resultado.** Las microesferas separadas se secan en una estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y se observan seguidamente mediante un microscopio para comprobar si su superficie muestra señales de haber sido dañada.

7.- **Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Resultados y observaciones de cada procedimiento.
- c) Fecha de ensaye.

## **8.602.15 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL INDICE DE REFRACCION DE MICROESFERAS DE VIDRIO**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** El método define un procedimiento cualitativo para determinar el índice de refracción de microesferas de vidrio utilizadas en las marcas viales para señalización horizontal de carreteras.

El índice de refracción de las microesferas se determina por el método de inmersión, utilizando un líquido con un índice de refracción a 20°C de 1,5 o ligeramente superior.

### **2.- Referencias.**

- UNE 135-283-94-Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Microesferas de vidrio. Determinación del índice de refracción.
- Norma Nch 2138 of. 9.1 "Pinturas para señales y demarcaciones de tránsito – Requisitos"

### **3.- Aparatos.**

**3.1 Microscopio.** Con aumento de 100X, provisto de una fuente de luz blanca que permita iluminar desde abajo

**3.2 Vidrio Reloj.** De 5 cm de diámetro, para examinar al microscopio.

**3.3 Foco luminoso.**

**3.4 Reactivos.** Batería de líquidos de índice de refracción conocidos, entre 1,50 y 1,55.

### **4.- Procedimiento.**

**4.1** Colocar una muestra de 1 a 2 g de microesferas de vidrio tal que cubra una zona de 3 mm de diámetro en una sola capa en el vidrio reloj limpio. Cubrir las microesferas de vidrio con el líquido de índice de refracción 1,5 a una temperatura de 25°C y examinar el conjunto en el microscopio.

**4.2** Se ajusta el foco luminoso al microscopio de forma que una parte de la cavidad cubierta por las microesferas este iluminada débilmente desde abajo.

**4.3** Por último se enfocan las microesferas, moviendo el objetivo en un sentido y luego en el otro, observando individualmente la apariencia de las microesferas.

### **5.- Resultados.**

**5.1** Al sumergir un objeto transparente o translúcido en un líquido, se produce una imagen al microscopio que está delimitada por una sombra oscura o halo.

**5.2** Las microesferas tienen un índice de refracción mayor que el índice de refracción del líquido de inmersión 1,5 si al ir alejando el objetivo de las mismas, se observa un anillo oscuro en la circunferencia de las microesferas y la luz se concentra en su interior. El ajuste del objetivo en sentido contrario da a las microesferas una apariencia borrosa.

**5.3** Las microesferas tienen un índice de refracción inferior a 1,5 si al ir acercando el objetivo de las mismas, se observa que aparece un anillo oscuro en el contorno de las microesferas y que la luz se concentra en su interior. El ajuste del objetivo en sentido contrario da a las microesferas una apariencia borrosa.

**5.4** Las partículas sólidas tienen el mismo índice de refracción del líquido de inmersión, si al estar perfectamente enfocadas estas son casi invisibles, el contorno oscurecido y el halo luminoso coinciden o se superponen y al ser desenfocadas tanto al acercarse como al alejarse, tienen un contorno borroso.

#### **6.- Resultados.**

**6.1** Expresar el resultado como el índice de refracción del líquido de inmersión cuando el contorno oscurecido y el halo luminoso se superponen.

**6.2** Si no existe una superposición, el valor debe expresarse en términos de índice de refracción mayor que o índice de refracción menor que el valor del índice de refracción del líquido de inmersión.

**7.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Índice de refracción de las microesferas.
- c) Fecha de ensaye.
- d) Observaciones.

## **8.602.16 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD DIURNA DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

**1.- Alcance .** Este método define los comportamientos, para los usuarios de la carretera, de las marcas viales mediante factor de luminancia, color y relación de contraste.

### **2.- Referencias.**

- Método 8.602.8. para determinar el color y factor de luminancia de los productos de señalización vial horizontal.
- UNE-EN1436- Materiales para señalización horizontal . Comportamiento de las marcas viales aplicadas sobre la calzada.

### **3.- Aparatos**

**3.1 Espectrofotómetro.** Para colorimetría de alta precisión.

**3.2 Colorímetro triestímulo.**

**4.- Procedimiento de terreno.** Se deben realizar mediciones de terreno de factor de luminancia, color y relación de contraste en cada uno de los puntos señalados a continuación.

#### **4.1 Consideraciones previas a la medición**

- El control se efectuará en forma independiente por línea de marcado.
- No se considera anormal si existe sangrado.
- Previo a la medición deberá efectuarse una limpieza de la marca con escobilla u otro elemento de modo de retirar el polvo o material acumulado sobre la marca.
- La medición deberá llevarse a cabo en el sentido del tránsito. En caso de calzadas bidireccionales el eje se medirá en ambos sentidos.
- Cuando la calzada se encuentra mojada no se recomienda hacer mediciones con equipo portátil.
- Se ordenarán las lecturas en orden ascendente al kilometraje. Y se partirá midiendo en el punto más cercano al inicio del tramo pintado y se terminará en el punto más cercano al término del tramo pintado.
- Para efectos de la evaluación en la medición del eje de calzadas bidireccionales, se evaluará en un sentido y luego en el otro en forma independiente.
- Cuando en el eje existan dos líneas (una continua y una segmentada) se medirá cada una en el sentido del tránsito que le corresponda, evaluándose por separado.

#### **4.2 Medición**

**4.2.1 El equipo de medición** se hará funcionar de acuerdo a las instrucciones del manual del fabricante.

**4.2.2 La visibilidad diurna** se medirá empleando como observador patrón 2º, una geometría 45/0 y el iluminante patrón CIE D-65, expresando el color mediante las coordenadas cromáticas x e y, y el factor de luminancia como el valor triestímulo "Y", dividido por 100 de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma 8.602.8.

**4.2.3 Número de puntos a medir.** El número de puntos a medir dependerá de la cantidad de kilómetros que se deseen inspeccionar.

**4.2.3.1 Si el tramo a medir es menor o igual que 2 km.** Se deben tomar como mínimo 10 puntos distribuidos en forma homogénea y al azar.

**4.2.3.2 Si el tramo a medir es mayor que 2 km** y menor que 10 km, se harán mediciones de acuerdo con la Tabla 8.602.16.A distribuidos de la siguiente manera.

Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Se dividirá el N° de puntos a medir de la Tabla 8.602.16.A por 10, lo que determinará el N° de sectores  $N_t$ .
- Ubique al azar los sectores a inspeccionar y distribúyalos en la forma más homogénea posible.
- Cada sector tiene un largo constante de 100 m.
- Y en cada sector se deben registrar 10 mediciones, distribuidas en forma homogénea.

**TABLA 8.602.16.A  
RELACION ENTRE KM PINTADOS Y PUNTOS A INSPECCIONAR**

Kilómetros N°	Cantidad de puntos a medir
2	10
4	30
6	40
8	50
10	60

**4.2.3.3 Si el tramo a medir es igual o mayor que 10 km**, se dividirá por sectores de 200 m y se determinará el número de sectores que se va a inspeccionar.

Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Se dividirá el largo total (en metros) del tramo a inspeccionar por 200 m, lo que determinará el N° de sectores totales ( $N_t$ ).
- Ubique al azar el punto de inicio de la medición y que esta sea un múltiplo de 200. Ejemplo 2400 m.
- Determine el N° de sectores que va a muestrear (T), dividiendo la longitud total del tramo por 5000 (N° arbitrario). Este resultado se redondea al valor entero superior.
- Calcule la distancia entre cada sector dividiendo  $N_t$  por T. El valor obtenido multiplíquelo por 100 y obtendrá la distancia (en metros) entre cada sector de medición.
- Cada sector tiene un largo constante de 200 m.
- Y en cada sector se deben registrar 20 mediciones, distribuidas en forma homogénea.

## 5.- Resultados

**5.1 Determinar el factor de luminancia ( $\beta$ )** la relación de contraste ( $R_c$ ) y el color.

**5.2 La relación de contraste  $R_c$**  se calcula de acuerdo a :

$$R_c = \frac{\beta_{\text{muestra}} - \beta_{\text{pavimento}}}{\beta_{\text{pavimento}}}$$

**6.- Informe.** En el informe se harán constar las siguientes informaciones :

- a) Referencia a esta norma.
- b) Tipo e identificación completa (N° lote, N° producción, marca, etc) de la pintura ensayada.
- c) Lugar de aplicación, (zona)
- d) Fecha de la aplicación de pintura
- e) Fecha de la fiscalización,
- f) Tipo, modelo, fabricante del equipo utilizado
- g) Cantidad de kilómetros pintados y N° de puntos medidos
- h) Entregar una tabla de valores por parámetro medido (color, factor de luminancia, relación de contraste), indicando todos los valores de medición y los promedios por punto.
- i) Inspección visual del esquema de pintado (homogeneidad de la pintura aplicada, calidad de la aplicación, etc.).

## 8.602.17 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA VISIBILIDAD NOCTURNA (RETORREFLECTANCIA) DE LA SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y campo de aplicación.** Este método define para los usuarios de la carretera el comportamiento de las marcas viales, mediante retrorreflexión bajo la iluminación de los faros de un vehículo.

### 2.- Referencias.

- ASTM D-3276- Guía Estándar para inspección de Pinturas.

### 3.- Terminología.

**3.1 Coeficiente de Luminancia Retrorreflejada** (de una zona de marca vial)  $R_L$  ( $\text{mcd/m}^2\text{lx}$ ). Cuociente entre la luminancia  $L$  de la zona de marca vial en la dirección de observación y la iluminancia  $E_1$  de esa zona, medida perpendicularmente a la dirección de la luz incidente.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Retrorreflectómetro.** Equipo de geometría 1,24-2,29 corresponde a observación visual de un vehículo a 30 m. o geometría 3,5-4,5 corresponde a observación visual de un vehículo a 15 m.

## 5. Procedimiento de Terreno

### 5.1 Consideraciones Previas a la Medición y Evaluación

- El control se efectuará en forma independiente por línea de marcado.
- No se deberán considerar las medidas en aquellos sectores que se hayan detectados como anormales en el momento de la medición (frenadas, manchas de asfalto, manchas de aceite, etc).
- No se considera anormal si existe sangrado.
- Previo a la medición deberá efectuarse una limpieza de la marca con escobilla u otro elemento de modo de retirar el polvo o material acumulado sobre la marca.
- La medición deberá llevarse a cabo en el sentido del tránsito. En caso de calzadas bidireccionales el eje se medirá en ambos sentidos.
- Cuando la calzada se encuentra mojada, no se recomienda hacer mediciones con equipo portátil.
- Se ordenarán las lecturas en orden ascendente al kilometraje.
- Para efectos de la evaluación en la medición del eje de calzadas bidireccionales, se evaluará en un sentido y luego en el otro en forma independiente.
- Cuando en el eje existan dos líneas (una continua y una segmentada) se medirá cada una en el sentido del tránsito que le corresponda, evaluándose por separado.

**5.2 Medición. El reflectómetro** se hará funcionar de acuerdo a las instrucciones del manual del fabricante. La calibración del equipo se realizará cada vez que se salga a terreno. Si la inspección en terreno dura más de medio día, se recomienda volver a calibrarlo.

**5.2.1 Número de puntos a medir.** El número de puntos a medir dependerá de la cantidad de kilómetros que se deseen inspeccionar.

**5.2.1.1 Si el tramo a medir es menor o igual que 2 km.** Se deben tomar como mínimo 10 puntos distribuidos en forma homogénea y al azar.

**5.2.1.2 Si el tramo a medir es mayor que 2 km** y menor que 10 km, se harán mediciones de acuerdo con la Tabla 8.602.17.A Relación entre km Pintados y Puntos a Inspeccionar”, distribuidos de la siguiente manera:

**TABLA 8.602.17.A  
RELACION ENTRE KM PINTADOS Y PUNTOS A INSPECCIONAR**

Kilómetros N°	Cantidad de puntos a medir
2	10
4	30
6	40
8	50
10	60

De acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se dividirá el N° de puntos a medir de la Tabla 8.602.17.A por 10, lo que determinará el N° de sectores  $N_t$ .
- Ubique al azar los sectores a inspeccionar y distribúyalos en la forma más homogénea posible.
- Cada sector tiene un largo constante de 100 m.
- Y en cada sector se deben registrar 10 mediciones, distribuidas en forma homogénea.

**5.2.1.3 Si el tramo a medir es igual o mayor que 10 km**, se dividirá por sectores de 200 m y se determinará el número de sectores que se va a inspeccionar distribuidos de la siguiente manera:

- Se dividirá el largo total (en metros) del tramo a inspeccionar por 200 m, lo que determinará el N° de sectores totales ( $N_t$ ).
- Ubique al azar el punto de inicio de la medición y que esta sea un múltiplo de 200. Ejemplo 2400 m.
- Determine el N° de sectores que va a muestrear (T), dividiendo la longitud total del tramo por 5000 (N° arbitrario). Este resultado se redondea al valor entero superior.
- Calcule la distancia entre cada sector dividiendo  $N_t$  por T. El valor obtenido multiplíquelo por 100 y obtendrá la distancia (en metros) entre cada sector de medición.
- Cada sector tiene un largo constante de 200 m.
- Y en cada sector se deben registrar 20 mediciones, distribuidas en forma homogénea.

**6.- Informe.** En el informe se harán constar las siguientes informaciones:

- Referencia a esta norma.
- Tipo e identificación completa (N° lote, N° producción, marca, etc) de la pintura ensayada.
- Lugar de aplicación, (zona)
- Fecha de la aplicación de pintura
- Fecha de la fiscalización,
- Tipo de instrumento usado, modelo, fabricante geometría utilizada.
- Cantidad de kilómetros pintados y N° de sectores medidos y distancia entre los sectores
- Tabla indicando todos los valores de medición y los promedios por punto.
- Inspección visual del esquema de pintado (homogeneidad de la pintura aplicada, calidad de la aplicación, etc.).

## 8.602.18 SEGURIDAD VIAL: METODO DE MUESTREO Y CONTROL DE LOS PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método describe como realizar la toma de muestras de los materiales de señalización horizontal para su ensaye. Se aplica a la verificación y/o identificación de materiales de señalización horizontal de un acopio existente o para cualquier material suministrado que requiera una comprobación previa a su aplicación.

Este método también incluye muestreo de microesferas de vidrio (anexo A) y tachas (anexo B).

### 2.- Referencia.

- **UNE 135200-2:1997 EX.** Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Parte 2: Materiales. Ensayos de laboratorio.

### 3.- Terminología.

**Envase Original de Producto (EOP).** Envase elemental de un material de señalización horizontal que constituye la parte más pequeña de un lote.

**Envase de Volumen Intermedio (IBC).** Envase con capacidad de 500 kg a 1000 kg aproximadamente, empleados como una solución intermedia entre sacos o botes (de 25 kg a 50 kg) y granel.

**4.- Procedimiento de Toma de Muestras.** Esta sección cubre el procedimiento para la selección de envases y para obtener de ellos muestras representativas de un acopio para su posterior inspección y ensaye.

Cuando el acopio sometido a examen consta de una serie de envases que pertenecen a un mismo lote, el número de envases a tomar para ensaye será de 1%. En cualquier caso, no menos de 2 envases ni más de 5 serán seleccionados para su ensaye.

Cuando el depósito sometido a examen consta de una serie de envases que pueden ser clasificados en diferentes lotes (L), se determinará el número total de lotes representativos del acopio (nota 1) de acuerdo a lo especificado en la Tabla 8.602.18.A.

Cuando el acopio a examinar no pueda ser clasificado en lotes, anote el número de envases (N) total que constituyen el acopio y determine el número total de envases representativos del acopio (n) de acuerdo a lo establecido en la Tabla 8.602.18.A.

**TABLA 8.602.18.A**  
**DETERMINACION DEL NUMERO DE LOTES O ENVASES**  
**DE UN ACOPIO CONSTITUIDO POR VARIOS LOTES**

NUMERO DE LOTES (L) O ENVASES (N) EN EL ACOPIO	NUMERO DE LOTES (L) O ENVASES (N) A SELECCIONAR
2-8	2
9-18	3
19-32	4
33-50	5
51-72	6
73-98	7
99-128	8
129-162	9
163-200	10
y a partir de 200 $l = \sqrt{L/2}$ ó $n = \sqrt{N/2}$	

Las muestras se etiquetaran adecuadamente y se acompañarán de la información requerida en el capítulo 10, Informe.

Para el posterior tratamiento de la muestra, los materiales como espátulas, agitadores, envases y otros necesarios como productos de limpieza, etiquetado y precauciones a tener en cuenta, se indican en el anexo A.

**Nota 1:** Para evitar tener que retirar una gran cantidad de envases del depósito, puede ser conveniente tomar las muestras representativas en situ. Los envases de gran capacidad deben ser muestreados en situ por personal especializado de acuerdo a Nch 2142.

**Nota 2:** Las muestras recogidas de los envases originales deben ser reenvasadas y almacenadas adecuadamente en las condiciones recomendadas por el fabricante.

**4.1 Pintura.** La muestra representativa del acopio de L lotes o N envases, constituida finalmente por "n" EOP, de acuerdo con la Tabla 8.602.18.A, tiene que ser reducida para su posterior análisis.

Para reducir la muestra "n" se procederá de la siguiente manera:

**4.1.1** Se observa el estado del envase, anotando los defectos apreciables a simple vista, ya sean de etiquetado o manipulación.

**4.1.2** Se abre el envase con cuidado de no agitarlo y se examina anotando la presencia de pieles, separación de componentes o presencia de materias extrañas.

**4.1.3** Si hay piel superficial, se anota si es dura o blanda y si es fina o gruesa, después se retira y se introduce el agitador observándose si hay sedimentación ligera, blanda, dura o dura y seca. Asimismo se deberá anotar la presencia de grumos o cualquier otro tipo de defectos.

**4.1.4** Con ayuda de un agitador se homogeneiza todo el contenido del envase anotando la facilidad de redispersión.

**4.1.5** Una vez homogeneizada la pintura, se hará uso de dos recipientes de dos litros de capacidad cada uno, perfectamente limpios y secos y con ayuda de cucharón u utensilio similar, se llenarán hasta dejar un espacio libre del 5% aproximadamente en volumen, cerrando a continuación herméticamente cada envase, se limpiarán exteriormente, si fuera necesario, con el disolvente apropiado y se etiquetarán adecuadamente acompañando la información requerida en el punto 9, Informe, además de la obtenida en los apartados 4.1.1 a 4.1.5.

**4.1.6** Inmediatamente después del llenado de los envases de dos litros de capacidad, se cierra el envase original y se procede con los demás envases originales "n" de la misma manera y empleando el menor tiempo posible a fin de evitar al máximo las pérdidas de disolventes volátiles.

**4.1.7** De cada par de envases de dos litros correspondientes al mismo envase original, se selecciona uno cualquiera a fin de tener una muestra reducida representativa con igual número de envases "n" que el inicial.

La muestra reducida de "n" envases debe ser homogénea, comprobándose mediante la ejecución de los ensayos de homogeneidad, de acuerdo con el punto 7.

**4.1.8** Una vez comprobada la homogeneidad de la muestra, se selecciona aleatoriamente un par de envases reducidos correspondientes al mismo envase original para proseguir con los ensayos requeridos.

**4.2 Termoplástico.** Los termoplásticos de señalización horizontal son suministrados normalmente en forma de polvo o de bloques. Cuando está en forma de polvo puede estar empaquetado en sacos individuales y suministrado apilado o en paletas con una envoltura exterior, por otra parte el material puede ser suministrado en envases de volumen intermedio (IBC). Dependiendo de la forma de suministro, la selección de paquetes o envases se hace como sigue:

**4.2.1 En Polvo (sacos).** La muestra representativa del acopio de L lotes o N envases, constituida finalmente por "n" EOP, de acuerdo a la Tabla 8.602.18.A, tiene que ser reducida a muestras representativas para su posterior análisis.

Para la reducción se empleará un reductor adecuado que tenga una abertura máxima de 50mm. Asimismo se observará el estado de los envases anotando los defectos apreciables bien de etiquetado o de manipulación.

**Nota 3:** Deben tomarse en consideración los aditivos y envases fundibles que fueran necesarios, y tomar una muestra de ellos en la cantidad apropiada para su posterior incorporación durante el ensaye de material.

Para reducir la muestra constituida por "n" EOP, se procederá de la siguiente manera:

- Cuando la selección ha sido realizada por lotes, los EOP escogidos de cada lote seleccionado, se reducen conjuntamente, hasta obtener "l" muestras representativas de masa aproximada a 5 kg.
- Cuando la selección no haya podido realizarse por lotes, los "n" EOP escogidos se reducirán por separado, hasta obtener "n" muestras representativas de masa aproximada a 5 kg.
- Las muestras representativas se etiquetarán adecuadamente acompañando la información requerida en el punto 10. Informe además de las observaciones obtenidas sobre el estado de los envases.
- Las "l" o "n" muestras representativas, obtenidas según el tipo de selección, deben ser homogéneas, comprobándose, mediante la ejecución de los ensayos de homogeneidad, de acuerdo al punto 7.
- Una vez comprobada la homogeneidad de la muestra se selecciona aleatoriamente una de las muestras representativas, para proseguir con los ensayos requeridos.

**4.2.2 En Polvo (IBC).** De un depósito de "L" IBC, se seleccionarán aleatoriamente, de acuerdo con la Tabla 8.602.18.A, "l" IBC completos que tienen que ser reducidos a muestras representativas para su posterior análisis.

Para la reducción se empleará un reductor adecuado que tenga una abertura máxima de 50 mm. Asimismo, se observará el estado de los envases anotando los defectos apreciables bien etiquetado o de manipulación.

**Nota 4:** Deben tomarse en consideración los aditivos y envases fundibles que fueran necesarios, y tomar una muestra de ellos en la cantidad apropiada para su posterior incorporación durante el ensaye del material.

Los "l" IBC seleccionados, se reducen por separado hasta obtener "l" muestras representativas de masa aproximada a 5 kg.

Las muestras representativas se etiquetarán adecuadamente acompañando la información requerida en 10. Informe, además de las observaciones obtenidas sobre el estado de los envases.

Las "l" muestras representativas obtenidas deben ser homogéneas, comprobándose mediante la ejecución de los ensayos de homogeneidad, de acuerdo con el punto 7. Homogeneidad.

Una vez comprobada la homogeneidad de la muestra se selecciona aleatoriamente una de las muestras representativas para proseguir con los ensayos requeridos.

**4.2.3 En bloque.** La muestra representativa del acopio de "L" lotes o "N" envases, constituida finalmente por "n" EOP, de acuerdo con la Tabla 8.602.18.A, tiene que ser reducida a muestras representativas para su posterior análisis.

La reducción se llevará a cabo eliminando los envoltorios y rompiendo cada bloque por separado, tomando de cada uno y de su centro la cantidad requerida. Asimismo, se observará el estado de los envases anotando los defectos apreciables bien de etiquetado o de manipulación.

Para reducir la muestra constituida por "n" EOP, se procederá de la manera siguiente:

- Cuando la selección ha sido realizada por lotes, los EOP escogidos de cada lote seleccionado se reducen conjuntamente, hasta obtener "1" muestras representativas de masa final aproximada de 5 kg.
- Cuando la selección no haya podido realizarse por lotes, los "n" EOP escogidos se reducirán por separado hasta obtener "n" muestras representativas de masa aproximada a 5 kg.
- Las muestras representativas se etiquetarán adecuadamente acompañando la información requerida en el punto 10, Informe.
- La "1" o "n" muestras representativas, obtenidas según el tipo de selección, deben ser homogéneas, comprobándose mediante la ejecución de ensayos de homogeneidad, de acuerdo con el punto 7.
- Una vez comprobada la homogeneidad de la muestra se selecciona aleatoriamente una de las muestras representativas, para proseguir con los ensayos requeridos.

**4.3 Plásticos en Frío.** Este procedimiento es de aplicación a cada uno de los componentes del plástico en frío.

**4.3.1 Componentes Líquidos.** La muestra representativa de acopio de "L" lotes o "N" envases, constituida finalmente por "n" EOP, de acuerdo con la Tabla 8.602.18.A, tiene que ser reducida para su posterior análisis.

Para reducir la muestra constituida por "n" EOP se procederá de la manera indicada en 4.1.

Las "1" o "n" muestras representativas, obtenidas según el tipo de selección, deben ser homogéneas, comprobándose mediante la ejecución de los ensayos de homogeneidad, de acuerdo con el punto 7.

Una vez comprobada la homogeneidad de la muestra se selecciona aleatoriamente una de las muestras representativas, para proseguir con los ensayos requeridos.

**4.3.2 Componentes sólidos.** Cuando el componente sólido está constituido solamente por el agente de curado, se tomará de él aleatoriamente, la cantidad necesaria, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, para la realización de los ensayos.

Cuando el componente sólidos está integrado en los materiales de postmezclado, debe tratarse como se especifica en el Anexo A de este Método.

**5.- Cantidades Mínimas de Muestra.** A fin de poder realizar los ensayos requeridos, es necesario una cantidad mínima de 5 kg de muestra para cada uno de los tipos de materiales.

**6.- Materiales y Diseño.** Todos los equipos de muestreo deben estar fabricados con materiales inalterables al deterioro y a los productos que van a ser muestreados y no deben contaminar la muestra.

El diseño del equipo debe asegurar facilidad de empleo y limpieza, evitando ángulos agudos interiores y superficies inaccesibles o de difícil inspección.

**6.1 Aparatos para Mezclar.** Agitadores de paleta de un largo apropiado de modo de alcanzar el fondo del recipiente que está siendo muestreado. Pueden usarse agitadores mecánicos.

**6.2 Envases para Muestras.** Deben emplearse recipientes nuevos de dimensiones apropiadas y de boca ancha. Estos pueden ser de dos tipos:

- recipientes metálicos, no recubiertos interiormente con barniz, provistos de tapas metálica de cierre hermético; y
- recipientes de vidrio, provistos de cierre hermético de material inalterable a la muestra, el uso de recipientes de vidrio color ámbar proporciona una protección parcial contra la acción de la luz. Para obtener una mejor protección, envolver el recipiente con un material opaco.

**6.3 Limpieza de Equipos de Muestreo.** Debe observarse siempre una rigurosa escrupulosidad en la limpieza del material utilizado, debiendo conservarse siempre seco y exento de cualquier residuo de manera de no contaminar la muestra. Después de cada uso, los equipos deben ser limpiados a fondo con la ayuda, cuando sea necesario de un cepillo o un paño de algodón limpio y enjuagados con un solvente adecuado.

**6.4 Precauciones de Seguridad.** Se pueden presentar una serie de peligros durante la extracción de la muestra, ya que el producto puede contener componentes volátiles, tóxicos o inflamables, debiendo evitarse que puedan producirse chispas o descargas de electricidad estática. Los muestreadores deben siempre estar informados (haciendo referencia de ello en las etiquetas de los recipientes) de los riesgos inherentes a la naturaleza de los productos manipulados y, en consecuencia deben actuar con precaución utilizando equipos de protección personal si fuese necesario.

**7.- Ensayes de Homogeneidad.** La muestra reducida de los "n" envases originales, con igual número de envases de esta, debe ser homogénea, lo que se comprobará realizando en cada uno de los envases, sacos y para cada tipo de producto los ensayos de homogeneidad.

**7.1 Pintura.** Después de no menos de 7 días desde la fecha de su fabricación, se realizarán los ensayos indicados en la especificación 8.601.1 punto 3.1.10.

**7.2 Termoplásticos de Aplicación en Caliente.** Se realizarán los ensayos de homogeneidad indicados en la especificación 8.601.1 punto 3.2.7.

**7.3 Plásticos de Aplicación en Frío.** Se realizarán los ensayos indicados en la Especificación 8.601.1, punto 3.3.4.

**8.- Identificación.** Cuando se hayan obtenido muestras de pintura, termoplásticos y/o plásticos en frío, con objeto de su verificación los ensayos se realizarán de acuerdo con la Especificación 8.601.1.

**9.- Informe.**

- a) Fecha de la toma de muestras.
- b) Localización del depósito.
- c) Identificación de la organización responsable de la toma de muestras.
- d) Nombre del fabricante.
- e) Identificación del producto.
- f) Numero de lotes.
- g) Información sobre la fecha de empleo límite.
- h) Instrucciones de uso.
- i) Condiciones de envasado.
- j) Condiciones reales de almacenamiento.
- k) Información sobre higiene y seguridad.
- l) Estado del producto (cuando se extrae del envase original).
- m) Procedimiento de toma de muestras empleado.
- n) Fecha de fabricación del producto.

## ANEXO A

### TOMA DE MUESTRAS MICROESFERAS DE VIDRIO

**1.- Objeto y Campo de Aplicación.** Esta norma tiene por finalidad establecer el método de ensaye que se debe seguir para llevar a cabo la toma de muestras de microesferas de vidrio, con el fin de que sea representativa.

**2.- Referencia.**

- UNE 135-281-94. Equipamiento para la señalización vial. Señalización Horizontal. Microesferas de vidrio. Toma de muestra.

**3.- Aparatos**

**3.1** Reductor Tyler. 16 a 1

**3.2** Juego de cuarteadores Tyler. 1 a 1 de varios tamaños.

**4.- Procedimiento.** Para reducir la muestra de microesferas de vidrio, se vierte ésta en el reductor Tyler 16 a 1, de forma que llene totalmente la tolva del mismo. La operación lleva consigo la reducción de las microesferas a la dieciseisava parte de la cantidad original.

A continuación, la muestra así obtenida se pasa por el primer cuarteador Tyler 1 a 1 el número de veces que sea necesario hasta que la cantidad de microesferas quede comprendida entre 200 g a 400g. En cada operación se elimina una de las dos mitades obtenidas.

**5.- Resultados.** La muestra obtenida de entre 200 a 400 g es la representativa de la muestra de microesferas de vidrio inicial.

**6.- Informe.**

- a) Fecha de toma de las muestras.
- b) Localización del depósito.
- c) Identificación de la organización responsable de la toma de muestras.
- d) Nombre del fabricante.
- e) Identificación del producto.
- g) Numero de lote.
- h) Condiciones de envasado.
- i) Condiciones reales de almacenamiento.
- j) Estado del producto.
- k) Procedimiento de toma de muestras empleado.
- l) Fecha de fabricación del producto.

## ANEXO B

### MUESTREO DE TACHAS

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método es aplicable a marcas delin eantes de pavimentos (Tachas) reflectantes, prismáticas, y no aptas para barredoras de nieve.

Este método indica la cantidad de tachas que hay que extraer de un lote.

**2.- Referencia.**

- ASTM D-4280-96- Standard Specification for extended Life Type, Nonplowable, Prismatic, Raised,Retroreflective Pavement Markers.

**3.- Procedimiento.** El muestreo para control se hará extrayendo un número de tachas igual a la raíz cúbica contratada, aproximado al entero superior.

Cuando existan rechazos, se puede hacer un re muestreo, seleccionando al azar el doble de elementos de la muestra originalmente testeada.

**4.- Informe.**

- a) Fecha de toma de las muestras.
- b) Localización del depósito.
- c) Identificación de la organización responsable de la toma de muestras.
- d) Nombre del fabricante.
- e) Identificación del producto.
- f) Numero de lote.
- g) Condiciones de envasado.
- h) Condiciones reales de almacenamiento.
- i) Estado del producto.
- j) Procedimiento de toma de muestras empleado.
- k) Fecha de fabricación del producto.



## 8.602.19 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE SECADO DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Se establece el método para determinar el período de secado requerido para que una pintura de tránsito no sea transferida al neumático de un automóvil.

Este método se aplica a pinturas destinadas a demarcaciones de pavimentos.

### 2.- Referencia.

- Norma NCh 2140 of 89. Pinturas de Tránsito. "Determinación del tiempo de secado apto para tránsito".

**3.- Resumen.** El método se basa en aplicar una película de pintura a una lámina de ensaye, hacer pasar sobre ella una rueda de masa conocida hasta que no exista adherencia de la pintura a los anillos de la rueda, y registrar el tiempo transcurrido.

### 4.- Aparatos.

**4.1** Consiste en un cilindro de acero de la forma y dimensiones indicadas en lámina 8.602.19.A, provisto de dos anillos reemplazables con forma de O y una rampa de forma y dimensiones indicadas en la misma lámina. La masa total del cilindro de acero ensamblado con los anillos en forma de O debe ser de  $5.386 \pm 28$  g.

Los requisitos dimensionales detallados del cilindro de acero y de la rampa están indicados en la lámina 8.602.19.A.

Los anillos reemplazables en forma de O deben estar hechos de goma sintética o un material similar a la goma. Los requisitos de dimensión son los siguientes:

- Diámetro externo : 104 mm;
- Diámetro interno : 85 mm;
- Sección transversal : 9,5 mm.

**4.2** Láminas de vidrio, de 100 x 200 x 3 mm.

**4.3** Aplicador de película o extendedor.

### 5.- Procedimiento.

**5.1** Mediante un atomizador, aplique sobre una lámina de vidrio limpia (4.2) una franja de ensaye de un mínimo de 75 mm de ancho de la pintura, de modo de obtener un espesor de película húmeda de  $380 \pm 10 \mu$  m. Registre el tiempo de aplicación.

**5.2** Deje secar la lámina en posición horizontal a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa.

**5.3** Ensaye las pinturas que se usen con microesferas incorporadas sin las microesferas, salvo que se especifique lo contrario o exista un acuerdo entre comprador y vendedor.

**5.4** Apoye la lámina contra la rampa y a intervalos regulares, saque la rueda de su soporte, sosténgala contra el soporte como punto inicial y hágala rodar libremente por la rampa inclinada haciéndola pasar cada vez por un trayecto diferente de la película de pintura. Coloque la rueda de manera que una superficie limpia de la misma tome contacto con la película de pintura. Limpie la rueda con un trapo saturado con acetona después de cada pasada de ésta sobre la película de pintura.

**Nota 1:** Es conveniente dejar a un lado la rueda a fin de que se evapore todo el solvente.

**5.5** Registre como punto final del ensaye, cuando no se adhiera pintura a los anillos de goma de la rueda al hacerla rodar sobre la película de pintura. A medida que se acerca el punto final, haga rodar la rueda sobre la película cada 30 s.

**6.- Resultados.** Calcular el tiempo de secado de la pintura, en minutos, según la fórmula siguiente:

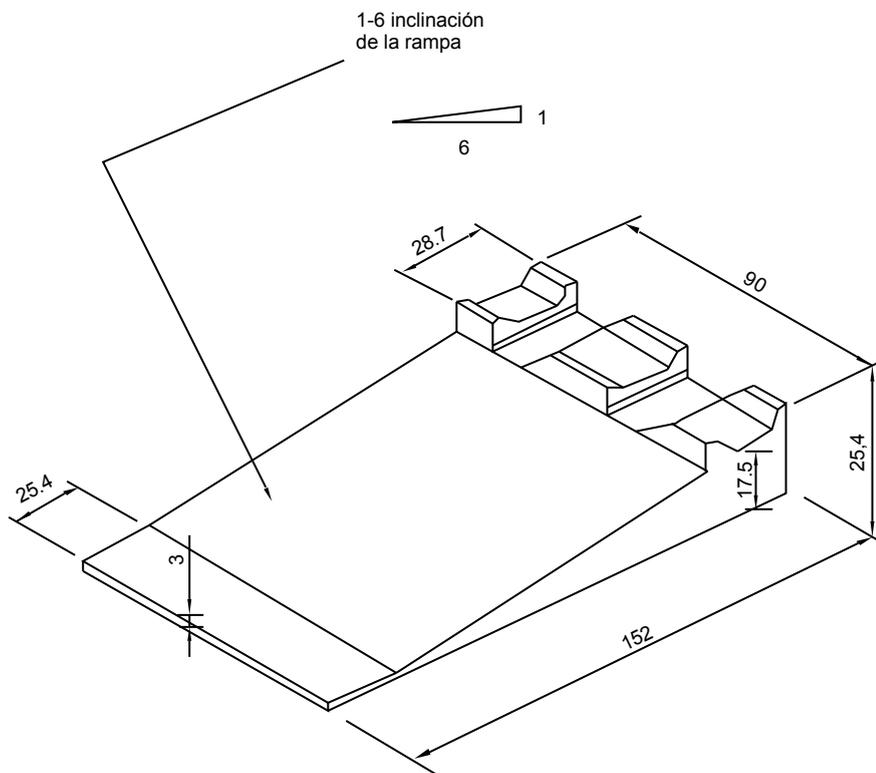
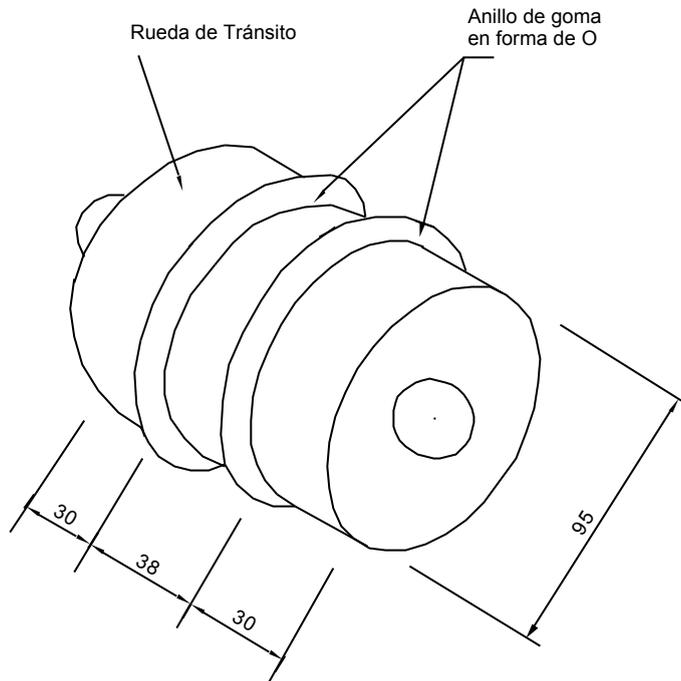
$$T_s = T_f - T_a$$

donde:

- $T_s$  : Tiempo de secado de la pintura, en minutos.
- $T_f$  : Tiempo de aplicación de la película de pintura.
- $T_a$  : Tiempo registrado como punto final de ensaye.

**7.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Tiempo de secado de la pintura.
- c) Fecha de ensaye.
- d) Observaciones.



Dimensiones en mm.



## 8.602.20 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA MEDIR LA REFLECTANCIA DE LAS TACHAS REFLECTANTES

**1.- Alcance.** Este Método de ensaye cubre la medición de propiedades retrorreflectantes de tachas con la geometría prescrita, mediante un retrorreflectómetro portátil que se puede usar en terreno. La medición puede ser comparada con los requerimientos mínimos para determinar la necesidad de reposición.

Este método de testeo se propone para ser usado para medición en terreno de tachas retrorreflectantes pero puede ser también usada para medir el desempeño antes de ser aplicada en terreno.

### 2.- Referencias.

- ASTM E-1696 "Standard test method for retroreflective pavement markers using a portable retroreflectometer";
- ASTM E-809 "Practice for measuring photometric characteristics of retroreflectors"

### 3.- Terminología.

**3.1 Coeficiente de intensidad** lumínica  $R_i$  de un retrorreflector, razón entre la intensidad lumínica ( $I$ ) del retrorreflector en la dirección de observación y el iluminante ( $E_{\perp}$ ) en el retrorreflector en el plano perpendicular a la dirección de la luz incidente, expresado en candelas por lx ( $\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1}$ ). Cuando los valores son bajos, el coeficiente de intensidad lumínica retrorreflectante puede ser dada en milicandelas por lux ( $\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1}$ )  $R_i = (I / E_{\perp})$ .

**3.2 Angulo de entrada;** ángulo entre el eje de iluminación y el eje del retrorreflector.

**3.3 Eje de iluminación;** línea desde el centro efectivo de la apertura de la fuente y el centro retrorreflector (ver Lámina 8.602.20.A).

**3.4 Retrorreflectómetro portátil;** instrumento de mano que puede ser usado en terreno o en el laboratorio para medir retrorreflectancia.

En este Método de ensaye, el término "retrorreflectómetro portátil" se refiere a un instrumento de mano que puede ser puesto sobre una tacha retrorreflectante para medir el coeficiente de intensidad lumínica con una geometría prescrita.

**3.5 Estándar de calibración del instrumento;** patrón de trabajo usado para calibrar el retrorreflectómetro portátil.

**3.6 Retrorreflexión:** reflexión en la cual los rayos reflectados son devueltos preferencialmente en una dirección cercana a la dirección opuesta de los rayos incidentes, esta propiedad se mantendrá por sobre la variación de la dirección de los incidentes.

**3.7 Elemento retrorreflectivo;** una unidad óptica el cual por refracción o reflexión o ambos produce un fenómeno de retrorreflección.

**4.- Resumen.** Este método involucra el uso de retrorreflectómetros portátiles comerciales para determinar el coeficiente de intensidad lumínica de las tachas.

El ángulo de entrada  $\beta_1$  deberá ser entre 0 y 2°, el ángulo de entrada  $\beta_2$  deberá ser de  $0 \pm 2$ .

El ángulo de observación deberá ser  $0,2 \pm 0,01^\circ$  al menos que otro valor sea especificado por el usuario.

Un patrón de calibración portátil deberá ser usado para calibrar el equipo. Esta calibración deberá realizarse en el mismo lugar de la medición.

Después de la calibración colocar el retrorreflectómetro directamente sobre la tacha a ensayar asegurándose de que la marca de eje de camino en el retrorreflectómetro esté paralelo a la línea del camino.

Se registra la lectura indicada por el retrorreflectómetro. El retrorreflectómetro se saca de la tacha, y se vuelve a poner y volviendo a registrar la lectura. Si la diferencia entre lecturas es mayor a un 10% el proceso será repetido por tercera vez.

## 5.- Aparato.

### Retrorreflectómetro portátil

- (a) El retrorreflectómetro deberá ser portátil con la capacidad para ser colocado sobre las tachas instaladas en la superficie de la carretera.
- (b) El retrorreflectómetro deberá estar construido de tal manera que al ponerlo sobre la carretera impida cualquier luz exterior, cuando se ensaye bajo condiciones de luz día.
- (c) El retrorreflectómetro deberá ser construido tal que pueda ser puesto sobre la tacha con el eje de iluminación paralelo a la superficie del camino.
- (d) La distribución espectral combinada de la fuente de luz y la respuesta espectral del receptor deberá igualar la distribución espectral combinada del iluminante CIE A y la función de luminosidad espectral  $V(\lambda)$  de acuerdo al siguiente criterio: para cualquier elección de filtro absorbente coloreado de plano paralelo montando al frente de una muestra retrorreflectante blanca, la razón entre  $R_1$  medido con el filtro y  $R_1$  medido sin el filtro deberá estar entre el 10% de la transmitancia lumínica del iluminante A en un par de estos filtros distanciados por aire.

**NOTA 1:** En el retrorreflectómetro el filtro deberá ser montado con una inclinación hacia abajo (por ejemplo 1.0°) para evitar reflexión especular en el receptor.

- e) El semi plano de observación deberá ser vertical. Angulo de rotación deberá ser 0° (ver Láminas 8.602.20.A, 8.602.20.B y 8.602.20.C).
- f) La suma de los ángulos de apertura de la fuente más del receptor deberá ser  $0,2^\circ \pm 0,04^\circ$  (ver Tabla 1 de ASTM E - 809) la máxima sensibilidad del sistema es obtenida cuando los ángulos de apertura de la fuente y receptor son iguales.
- g) El ángulo de apertura de un elemento individual retrorreflectante deberá ser  $0,02^\circ$  como máximo (ver ASTM E-809). Para un fotómetro portátil este ángulo de apertura puede ser alcanzado por interposición de lentes paralelos en los ejes de iluminación y de observación.
- h) Se deberá usar un patrón similar en color, material y tipo a la muestra y la medición de  $R_1$  no se debería desviar por más de 10% de las mediciones hechas en un laboratorio de fotometría de acuerdo a la ASTM E-809 con ángulos de observación,  $\alpha$ , como se especifica y  $\beta_1 = \beta_2 = \epsilon = 0^\circ$ .
- i) Para conveniencia del usuario, se puede poner en el instrumento una marca que indique el eje del camino para permitir que sea alineado con la dirección del tránsito.
- j) Use las aperturas angulares mostradas en la Tabla 8.602.20.A. Alta resolución significa ensayos que requieren ángulos de observación tan pequeños como  $0,1^\circ$ . Resoluciones moderadas requieren ángulos de observación no menores a  $0,2^\circ$ . Bajas resoluciones requieren ángulos de observación de  $0.33^\circ$  o mayores.

**TABLA 8.602.20.A**  
**APERTURAS ANGULARES**

	Resolución Alta	Resolución Moderada	Resolución Baja
Suma de apertura angular de la fuente mas el receptor ( $\delta + \delta'$ ), $0^\circ$ <sup>A</sup>	$0.1 \pm 0.02$	$0.2 \pm 0.04$	$0.33 \pm 0.06$
Apertura angular del retrorreflector, $^\circ$	0.4 max	1.8 max	3.5 max
Apertura angular de un elemento retrorreflectante individual, $^\circ$	0.01 max	0.02 max	0.04

<sup>A</sup>La sensibilidad máxima del sistema se obtiene cuando la apertura angular de la fuente ( $\delta$ ) y el receptor ( $\delta'$ ) son iguales.

## 6.- Requerimiento de la fuente de luz.

- (a) La óptica de proyección deberá ser tal que la iluminancia sobre toda el área a ensayar debe estar entre el 10% de la iluminancia promedio.
- (b) La fuente deberá ser regulada de manera que la iluminancia en el área a ensayar no cambie más de un  $\pm 1\%$  mientras dure el test.

## 7.- Requerimientos del receptor.

- (a) El receptor deberá tener una suficiente sensibilidad y rango para acomodarse a los valores esperados del coeficiente de intensidad lumínica, típicamente  $1 \text{ a } 1999 \text{ mcd lx}^{-1}$ .
- (b) La respuesta del receptor no deberá variar más de  $\pm 2\%$  mientras dure el test.

## 8.- Geometría de la medición.

- (a) La fuente de luz y el receptor deben estar en el infinito óptico para asegurar que la apertura angular de un elemento individual retrorreflectante no será más de  $0.02^\circ$ .
- (b) La fuente de luz y el receptor deberán estar separados uno del otro por una distancia entre centro y centro correspondiente a un ángulo de observación de  $0.2^\circ \pm 0.01^\circ$ .

## 9.- Procedimiento. Encender el retrorreflectómetro y permitir que llegue al equilibrio.

Con el retrorreflectómetro puesto sobre la superficie de la carretera cerca de la tacha a ensayar ajustar la perilla del cero para una lectura de  $0 \pm 2$  en la menor cifra significativa. Para uso en laboratorio el retrorreflectómetro deberá ser puesto en cero en la misma superficie no retrorreflectante en la que se va a poner la tacha para ensayarlo.

En aproximadamente el mismo lugar del camino donde se ajusto el retrorreflectómetro a cero, ponga el patrón de color, material y tipo similar a la tacha a ser ensayada y que tenga una retrorreflectancia conocida y relativamente constante. El patrón deberá ser chequeado en un fotómetro de laboratorio en intervalos regulares (ASTM E-809) y se debe ajustar el valor del estándar.

Ponga el retrorreflectómetro sobre el patrón y prenda el instrumento. Después de que se haya calentado por el tiempo recomendado por el proveedor, típicamente 15 s, coloque la amplificación del instrumento para que el medidor muestre el valor del patrón del instrumento.

Limpie la superficie de la tacha con un paño suave muy mojado con detergente y agua cuidando de no producir abrasión en la superficie de la tacha. Seque totalmente con una toalla de papel.

Ponga el retrorreflectómetro sobre la tacha a ser medida asegurándose que no hay impedimentos para poner el instrumento sobre la superficie del camino. Registre la lectura, la cual será en  $\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1}$ .

Saque el retrorreflectómetro de la tacha y vuelva a colocarlo sobre ella, y de nuevo registre la lectura. Si las dos lecturas difieren en más de un 10% vuelva a sacar y poner el retrorreflectómetro y tome una tercera lectura.

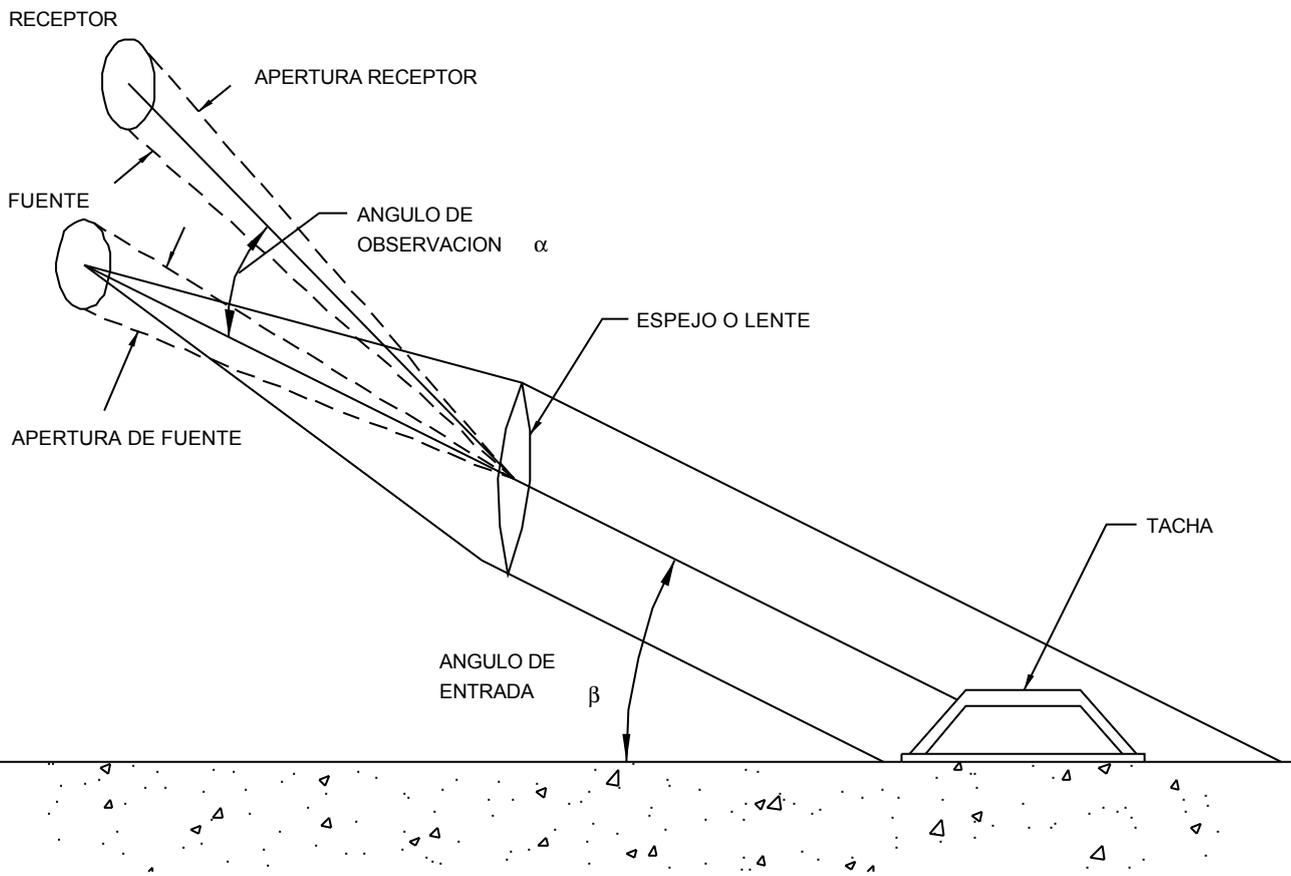
## 10.- Informe. Anotar la siguiente información

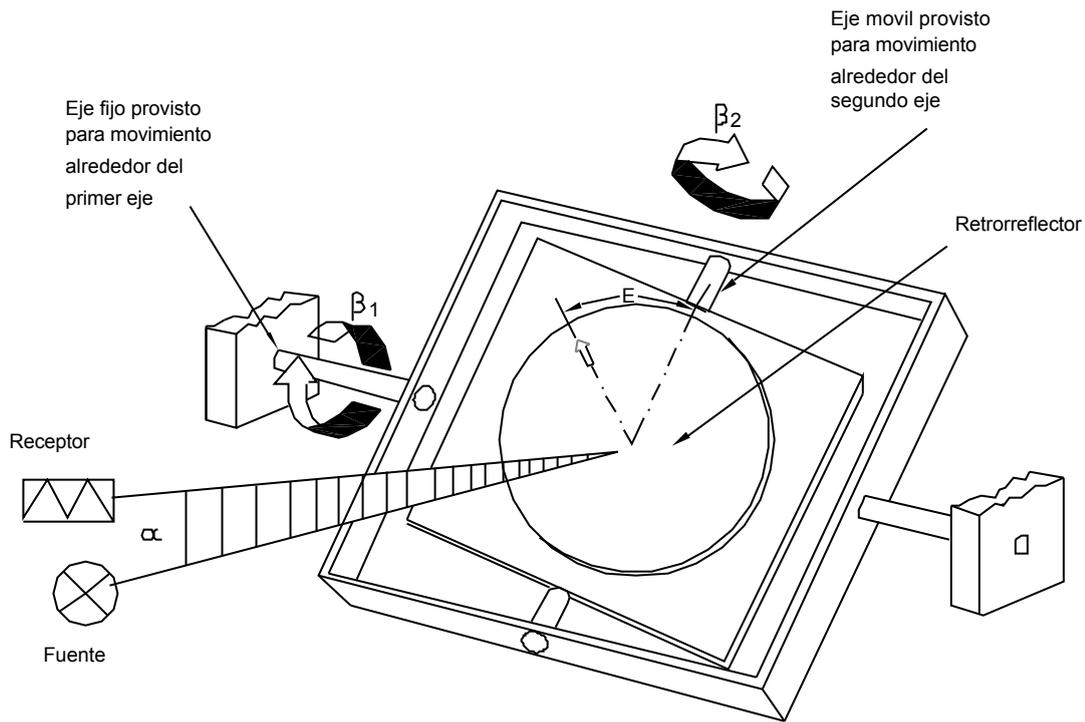
- (a) La fecha de la prueba
- (b) La ubicación de la tacha incluyendo la distancia desde el lugar más cerca de identificación permanente como marca de kilometraje o cruce de ferrocarril.
- (c) La identificación del instrumento usado
- (d) El promedio de las lecturas antes y después de limpiar; la lectura será el coeficiente de intensidad lumínica en milicandelas por lx ( $\text{mcd/lx}$ ).
- (e) Observaciones de la condición de la tacha como el porcentaje de área sin daño y

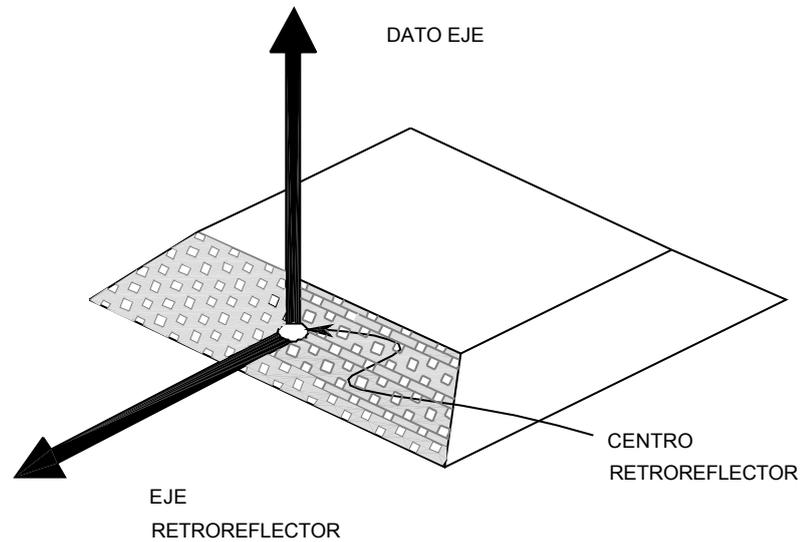
(f) El valor y fecha de la calibración y la identificación del patrón de referencia usado.

**11.- Fuente de error.** Hay muchos factores que pueden causar mucha variabilidad cuando se toman lecturas en terreno.

- (a) Retrorreflectómetros con diferentes ángulos de entrada, ángulos de observación o ángulos de apertura o combinación de ellos darán diferentes lecturas.
- (b) Pequeñas diferencias en el seteo del retrorreflectómetro alrededor de la tacha pueden conducir lecturas diferentes.
- (c) Diferencia en la limpieza de la tacha causará diferencias en la lectura. Por ejemplo, una tacha medida al poco tiempo de haber llovido tendrá una lectura más alta que la misma tacha medida después que se haya secado bien.







- ◆ LOCALIZACION DEL EJE RETROREFLECTOR, DATOS DEL EJE Y DEL CENTRO DEL RETROREFLECTOR PARA USO EN EL ENSAYE DE TACHAS.-
- EL CENTRO RETROREFLECTOR DEBE ESTAR LOCALIZADO EN LA SUPERFICIE DEL AREA EFECTIVAMENTE RETROREFLECTIVA, CENTRADO TANTO VERTICAL COMO HORIZONTALMENTE.-
- ◆ EL EJE RETROREFLECTOR SE EXTIENDE DESDE EL CENTRO RETROREFLECTOR EN FORMA PARALELA A LA SUPERFICIE DEL CAMINO.-
- ◆ EL DATO DEL EJE SE EXTIENDE VERTICALMENTE A LA SUPERFICIE DEL CAMINO, INICIANDOSE EN EL CENTRO RETROREFLECTOR.-



## 8.602.21 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COLOR DE LAS TACHAS REFLECTANTES

1.- **General.** Este ensaye tiene por objeto determinar las coordenadas cromáticas de la radiación retrorreflejada por los retrorreflectores incorporados a las tachas de uso permanente o temporal.

### 2.- Referencia.

- ASTM D-4280-96- Specification for Extended Life Type, Nonplowowable, Prismatic, Raised, Retroreflective Pavement Markers

### 3.- Terminología.

3.1 **Color.** Expresada en coordenadas cromáticas de acuerdo al sistema colorímetro estándar CIE, (Commission Internationale de l'Eclairage 1931)

3.2 **Angulo de entrada horizontal.** El ángulo en el plano horizontal entre la dirección de la luz de incidencia y la normal al borde de entrada de la tacha.

3.3 **Angulo de observación.** Es el ángulo al reflector, entre el eje de iluminación y el eje de observación.

3.4 **Retrorreflexión.** Reflexión en el cual la radiación es retornada en la dirección que se emitió. Esta propiedad se mantiene en un amplio espectro de variación de radiación incidente.

### 4.- Procedimiento.

4.1 Mida el color con un ángulo de observación de 0.2° y un ángulo de entrada de 0°. La apertura angular de la fuente y receptor sería cada 6 min de arco.

4.2 Coloque el equipo en posición respecto a la tacha.

4.3 Asegúrese que la apertura de la fuente de entrada esté contenida dentro del campo de visión del equipo.

4.4 Tome lecturas  $m_2(\lambda)$  de cada longitud de onda de 380 a 740 nm a intervalos de 10 nm ( ver Anexo A).

4.5 Regrese el equipo a la posición del receptor y tome lecturas  $m_1(\lambda)$  de la luz reflejada por el retrorreflector de 380 a 740 nm a intervalos de 10 nm.

4.6 Un set alternativo de lecturas  $m_2(\lambda)$  puede ser obtenido viendo la reflectada de una placa de BaSO<sub>4</sub>. Este método tiene la ventaja que  $m_1(\lambda)$  y  $m_2(\lambda)$  pueden tener la misma magnitud si es seleccionada adecuadamente la distancia entre el receptor y el estándar. Sin embargo en ambos métodos la posición del equipo de medición debería mantenerse constante durante las mediciones de  $m_2(\lambda)$  y la colección óptica no debería cambiar cuando  $m_1(\lambda)$  es medido.

4.7 Calcule los valores triestímulos X,Y y Z mediante las siguientes ecuaciones:

$$X = k \sum_{380}^{740} \left( \frac{m_1(\lambda)}{m_2(\lambda)} \right) S_A(\lambda) \underline{x}(\lambda) \Delta(\lambda)$$

$$Y = k \sum_{380}^{740} \left( \frac{m_1(\lambda)}{m_2(\lambda)} \right) S_A(\lambda) \underline{y}(\lambda) \Delta(\lambda)$$

$$Z = k \sum_{380}^{740} \left( \frac{m_1(\lambda)}{m_2(\lambda)} \right) S_A(\lambda) z(\lambda) \Delta(\lambda)$$

donde:

$m_1$  = lectura de la muestra

$m_2$  = lectura de la radiación incidente ya sea directa o reflejada de la placa de BaSO<sub>4</sub> .

Las coordenadas cromáticas x e y están dadas por

$$x = X/(X+Y+Z)$$

$$y = Y/(X+Y+Z)$$

**5.- Resultados.** Cuando el retrorreflector es iluminado mediante una fuente A estándar CIE, el color de la luz retrorreflejada tendría que caer dentro de la gama de colores dado por los vértices de la Tabla 8.601.1.E y mostrados en la Figura 8.601.1.A.

**6.- Informe.** El informe debe contener la siguiente información:

- (a) La fecha de la prueba
- (b) La ubicación de la tacha incluyendo la distancia desde el lugar más cerca de identificación permanente como marca de kilometraje o cruce de ferrocarril.
- (c) La identificación del instrumento usado
- (d) El promedio de las lecturas antes y después de limpiar;
- (e) Observaciones de la condición de la tacha como el porcentaje de área sin daño y
- (f) El valor y fecha de la calibración.

## ANEXO A

### ILUMINANTES PATRON

De acuerdo con la norma UNE-073-94/1, el iluminante que debe especificarse para medidas de color., es el iluminante patrón CIE D65, que se corresponde con una luz diurna natural a una temperatura de color correlacionada de 6500 K (véase la publicación CIE N° 15).

Para la determinación colorimétrica de un índice de metamerismo especial, debe emplearse el iluminante patrón A, que representa la luz de una lámpara de tungsteno y se corresponde en su distribución espectral a un cuerpo negro a una temperatura de 2856 K (véase Capítulo 5 de la Norma UNE 48-073/2).

Los valores numéricos para la distribución energética espectral relativa  $S_\lambda$  de los iluminantes patrones D65 y A se relacionan en la Tabla 8.602.21.A.

**TABLA 8.602.21.A**  
**DISTRIBUCION ENERGETICA ESPECTRAL RELATIVA  $S_\lambda$  DE LOS**  
**ILUMINANTES PATRON D65 y A a intervalos de  $\lambda=5\text{nm}$**

$\lambda$ nm	$S_\lambda$ , D 65	$S_\lambda$ , A	$\lambda$ nm	$S_\lambda$ , D 65	$S_\lambda$ , A
380	50	9.8	600	90.0	129.04
385	52.3	10.9	605	89.8	132.70
390	54.6	12.09	610	89.6	136.35
395	68.7	13.35	615	88.6	139.99
400	82.8	14.71	620	87.7	143.62
405	87.1	16.15	625	85.5	147.23
410	91.5	17.68	630	83.3	150.84
415	92.5	19.29	635	83.5	154.42
420	93.4	21	640	83.7	157.98
425	90.1	22.79	645	81.9	161.52
430	86.7	24.67	650	80.0	165.03
435	95.8	26.64	655	80.1	168.51
440	104.9	28.70	660	80.2	171.96
445	110.9	30.85	665	81.2	175.38
450	117	33.09	670	82.3	178.77
455	117.4	35.41	675	80.3	182.12
460	117.8	37.81	680	78.3	185.43
465	116.3	40.30	685	74	188.70
470	114.9	42.87	690	69.7	191.93
475	115.4	45.52	695	70	195.12
480	115.9	48.24	700	71.6	198.26
485	112.4	51.04	705	73	201.36
490	108.8	53.91	710	74.3	204.41
495	109.1	56.85	715	68	207.41
500	109.4	59.86	720	61.6	210.36
505	108.6	62.93	725	65.7	213.27
510	107.8	66.06	730	69.9	216.12
515	106.3	69.25	735	72.5	218.92
520	104.8	72.50	740	75.1	221.67
525	106.2	75.79	745	69.3	224.36
530	107.7	79.13	750	63.6	227.00
535	106.0	82.52	755	55	229.59
540	104.4	85.95	760	46.4	232.12

$\lambda$ nm	$S_{\lambda}$ , D 65	$S_{\lambda}$ ,A	$\lambda$ nm	$S_{\lambda}$ , D 65	$S_{\lambda}$ ,A
545	104.2	89.41	765	56.6	234.59
550	104	92.41	770	66.8	237.01
555	102	96.44	775	65.1	239.37
560	100	100.00	780	63.4	241.68
565	98.2	103.58			
570	96.3	107.18			
575	96.1	110.80			
580	95.8	114.44			
585	92.2	118.08			
590	88.7	121.73			
595	89.3	125.39			



## 8.602.22 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESPRENDIMIENTO DE TACHAS REFLECTANTES

**1.- Alcance.** Este método evalúa la adherencia del pegamento utilizado en las tachas reflectantes con fondo plano no aptas para barredoras de nieve.

Los valores en unidades SI son los considerados como estándar.

### 2.- Referencias.

- ASTM D-4280-96. Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Prismatic, Raised, retroreflective Pavement Markers
- AASHTO No. M237 Epoxy Resin Adhesive for Bonding Traffic Markers to Hardened Concrete
- AASHTO No. T237 Testing Epoxy Resin Adhesive
- Especificación 8.601.1.

**3.- Resumen del Método.** Se pega con el adhesivo para tachas, un vástago de acero y la tacha. Este vástago tiene que poseer por el otro extremo en una punta enroscada que puede acoplarse a la máquina de ensaye. La tacha pegada con el vástago, se hace pasar a través de un orificio en el plato de prueba de la máquina de ensaye, de tal manera que el vástago pueda moverse en sentido vertical fácilmente y la tacha no pase a través del plato de prueba. Se enrosca el vástago en la máquina de prueba y se aplica carga hasta que la tacha se desprenda del cilindro.

### 4.- Aparatos.

**4.1 Cronómetro.** Con divisiones de un segundo o menos

**4.2 Un Vástago.** De 50,8 mm de diámetro y de 50,8 mm de largo de acero limpiado con arena a presión o de aluminio. Si la base de la tacha es menor a 50,8 mm en cualquier dirección, sustituir el vástago de 50,8 mm especificado por uno de 25,4 mm de diámetro. El otro extremo debe ser con hilo para que se pueda acoplar una barra de acero con hilo o gancho para insertarlo en la máquina de ensaye.

**4.3 Una Prensa de Ensaye.** Operando a una velocidad de 22,2 kN/min alternativamente se puede usar un dinamómetro de inclinación máxima con anillo adecuado de 25 mm y montado en una caja que permita tirar verticalmente hacia arriba, operando a una velocidad de 5,1 mm/min.

**4.4 Adhesivo.** Usado para el test deberá ser el utilizado para pegar las tachas.

### 5.- Procedimiento.

**5.1** Las condiciones de temperaturas del adhesivo deber ser:  $23,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$

**5.2** Poner el adhesivo en la superficie del vástago y la tacha.

**5.3** Acondicionar el ensamblaje vástago, adhesivo y tacha por 24 horas a  $23,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$  antes de ensayar.

**5.4** Poner las tachas contra el plato de ensaye que tiene un orificio a través del cual el vástago puede ser insertado y sujeto a la máquina de ensaye.

**5.5** Presionar el vástago firmemente en el lugar y remover el exceso de adhesivo.

**5.6** Justo antes de comenzar la prueba insertar la barra con hilo o gancho en el vástago.

**5.7** Coloque el conjunto en la maquina de ensaye.

**5.8** Aplique la carga a la velocidad especificada hasta que falle y anote la carga máxima alcanzada antes de que falle.

**5.9** Realice 3 ensayos independientes y entregue el resultado como el promedio de ellos.

**6.- Resultados.** Calcular la fuerza de enlace a la tacha antes de fallar como sigue:

$$\text{Fuerza enlace (kPa)} = \frac{TL}{A}$$

Donde:

TL: Carga total en Newton

A : Area de enlace, m<sup>2</sup>

**7.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación del adhesivo.
- b) Identificación de la tacha.
- c) Diámetro del vástago.
- d) Resistencia al desprendimiento.
- e) Fecha de ensaye.

## 8.602.23      **SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y FLEXOTRACCION DE TACHAS REFLECTANTES**

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este Método cubre tachas retrorreflectantes, prismáticas, no aptas para barredoras de nieve.

Los valores en unidades SI son los considerados como estándar. Los valores entregados en paréntesis son sólo para información.

### **2.- Referencias.**

- ASTM D-4280-96. Standard Specification for Extended Life Type, Nonplowable, Prismatic, Raised, Retroreflective Pavement Markers

### **3.- Resistencia a Compresión.**

**3.1** Procedimiento para tachas con largo o ancho menor que 101,6 mm (4 pulgadas).

**3.2** Acondicione la tacha a  $23,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$  por cuatro horas antes del ensaye.

**3.3** Ponga la base de la tacha al centro de una plancha de acero plana de 13 mm (0,5 pulgadas) de espesor más grande que las tachas.

**3.4** En la parte superior de la tacha coloque un paño elastomérico (goma) de 9,5 mm (0,37 pulgadas) de espesor más grande que el tamaño de la tacha y que tenga una dureza Shore A de 60.

**3.5** Sobre la parte superior del paño elastomérico coloque una plancha de acero plana de 13 mm (0,5 pulgadas) de espesor y más grande que las tachas.

**3.6** Aplique una carga a una velocidad de 2,5 mm /min.

**3.7 Resultado.** La tacha deberá soportar una carga de 2.727 kgf (6.000 lb) sin quebrarse o deformarse significativamente; una deformación significativa se deberá entender como 3,3 mm.

### **4. Resistencia a Flexotracción.**

**4.1** Procedimiento para tachas con largo y ancho igual o mayor a 101,6 (4 pulgadas).

**4.2** Acondicione la tacha a  $23,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$  por 4 horas antes del ensaye.

**4.3** Centre la base de la tacha sobre un cilindro de metal hueco colocado en forma vertical de 25,4 mm de altura, con diámetro interno de 76,2 mm y paredes de espesor de 6,4 mm.

**4.4** Aplique una carga en la parte superior de la marca a una velocidad de 5,0 mm/mim mediante un pistón de 25,4 mm de diámetro ubicado al centro de la tacha.

**4.5 Resultado.** La tacha deberá soportar una carga de 909 kg sin quebrarse o deformarse significativamente, una deformación significativa se deberá entender como 3,3 mm.

**5.- Informe.** En el informe debe indicarse:

- a) Identificación de la muestra (dimensiones).
- b) Ensaye realizado.
- c) Peso del ensaye.
- d) Valor de la deformación.
- e) Resultados y observaciones.
- f) Fecha de ensaye.



**8.602.24 (EN BLANCO)**

**8.602.25 (EN BLANCO)**

**8.602.26 (EN BLANCO)**

**8.602.27 (EN BLANCO)**

## **8.602.28 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION A LA ABRASION SECA A MATERIALES DE SEÑALIZACION VIAL HORIZONTAL**

### **1.- Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Se establece el método para determinar la resistencia a la abrasión seca de recubrimientos orgánicos, por el método de una caída de arena.

**1.2** Esta norma se aplica a recubrimientos de pinturas y productos afines, aplicados sobre láminas planas, usualmente de metal y de textura superficial uniforme.

### **2.- Referencias.**

- Nch 1008.of 89 Pinturas – Determinación de la resistencia a la abrasión seca- Método de la caída de arena.
- Nch1007 Pinturas – Determinación del espesor de película seca.

**3.- Resumen del Método.** El método se basa en determinar la resistencia a la abrasión seca mediante la medición de la cantidad de material abrasivo (arena) necesario para desgastar una unidad de espesor de película de recubrimiento, al dejar caer la arena desde una altura especificada a través de un tubo guía.

### **4.- Aparatos.**

**4.1 Medidor de la Abrasión:** como el descrito en las figuras 1 y 2. de la Lámina 8.602.28.A. Apoye el tubo guía firmemente en posición vertical sobre un recipiente adecuado provisto de un soporte para mantener la muestra en un ángulo de 45° con respecto al tubo, de manera que la abertura del tubo quede directamente sobre el área en la cual se va a determinar la abrasión; la distancia entre el tubo y la superficie de la lámina debe ser 2,5 cm medida verticalmente desde el extremo más cercano a la muestra. La base del aparato debe tener tornillos ajustables que permitan alinear el aparato. En la parte superior del tubo guía debe existir una compuerta destinada a iniciar el flujo de material abrasivo, la cual consiste en un disco de metal insertado en una ranura ubicada en el costado del tubo y un anillo que cubra la ranura.

**4.2 Arena Natural:** tipo arena de Ottawa. Sílice natural de partículas redondeadas, con un tamaño de partículas tal que le permita pasar a través de un tamiz de ensaye de abertura nominal igual a 850 µm y ser retenida en un tamiz de abertura nominal igual a 600 µm. La arena se considera adecuada si al tamizar 100 g de ésta por un periodo de 5 min, se retienen como máximo 15 g en el tamiz de 850 µm y pasan como máximo 5 g por el tamiz de 600 µm.

Antes de su uso, la arena debe ser secada en estufa durante 1h a 105 °C.

### **5.- Procedimiento.**

#### **5.1 Calibración del aparato**

- a) Coloque una cantidad de arena en el embudo. Examine la corriente de arena que cae desde el punto final mas bajo del tubo guía y alinear el aparato ajustando los tornillos de la base hasta que el núcleo concentrado de la corriente de arena quede centrado cuando se observe desde dos posiciones a 90° una de otra.
- b) Mida 2 litros ± 10 ml de arena, colóquelo en el embudo y determine el tiempo de salida. La velocidad de flujo debe ser 2 litros de arena en 21 a 23,5 seg.
- c) Coloque el panel de muestra para el ensaye en la posición descrita en el punto 4.1. Introduzca arena en incrementos razonables hasta que la pintura esté desgastada hasta la base en una zona de 4 mm de diámetro. El área total desgastada debe ser de forma elíptica, con aproximadamente 25 mm de ancho y 30 mm de longitud. El centro del área de máxima abrasión debe estar en el

punto céntrico del eje mayor del modelo y dentro de 14 a 17 mm del borde superior. Para centrar el punto de máxima abrasión, puede ser necesario un ligero ajuste final del aparato.

- d) La verificación final de alineamiento debe efectuarse mediante la determinación de la cantidad de arena que pasa a través de un orificio de 4 mm de diámetro ubicado en un panel de metal colocado directamente bajo el tubo. Coloque un recipiente bajo el orificio del panel y deje caer una cantidad pesada de arena a través del tubo hacia el panel. Pese la cantidad total de arena que pasa a través del orificio hacia el recipiente. El aparato está calibrado cuando la cantidad de arena que pasa a través del orificio es de 90 a 93% de la cantidad de arena que se hizo caer sobre el panel.
- e) Verifique frecuentemente la alineación del tubo guía, para asegurar que el eje interior de la corriente de arena, coincida con el eje de flujo en el tubo.
- f) Tamizar la arena a través de un tamiz de 600 µm, después de 25 pasadas a través del aparato, para eliminar los finos. Reemplazar la arena después de que se haya pasado 50 veces por el tubo.

## 5.2 Preparación de la muestra.

- a) Aplique la pintura que se va a ensayar en láminas de material adecuado, preferiblemente de acero, de manera de obtener un espesor de película uniforme.
- b) Seque y cure la película de acuerdo a lo que se indique en las especificaciones del producto.
- c) Mantenga los paneles de ensaye como mínimo 24 horas a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y 50 % de humedad relativa. Realice el ensaye en las mismas condiciones ambientales o inmediatamente después del acondicionamiento.

## 5.3 Determinación de la resistencia a la abrasión.

- a) Efectúe la determinación en duplicado.
- b) En cada uno de los paneles de ensaye, marcar 3 áreas circulares de aproximadamente 25 mm de diámetro cada una, ubicadas en el panel de tal forma que cada una de ellas pueda ser ubicada de una manera apropiada en el soporte del aparato de abrasión.
- c) Mida el espesor de la película en un mínimo de 3 puntos de cada área, de acuerdo a lo que se indica en NCh 1007. La media de las tres determinaciones corresponderá al espesor de la película en el área respectiva.
- d) Después de acondicionar la muestra, asegure el panel de ensaye en el medidor de abrasión según indica en el punto 4.1.
- e) Ajuste el panel de manera que una de las áreas marcadas quede centrada bajo el tubo guía.
- f) Coloque en el embudo un volumen medido de arena (ver punto 4.2), abra la compuerta y deje fluir la arena hasta producir el desgaste de la película pintada hasta la base de la lámina, en un área de 4 mm de diámetro. Un incremento conveniente para comenzar el ensaye es de  $2.000 \pm 10$  ml, pudiendo agregarse incrementos de  $200 \pm 2$  ml a medida que se aproxima el punto final.

**Nota:** Asegúrese de que el anillo cubra la ranura del tubo guía cuando la compuerta se saque.

- g) Repita el procedimiento indicado en el punto 5.3.f, con el resto de las áreas marcadas en el punto 5.3.b.

## 6.- Resultados.

**6.1** Calcule la resistencia a la abrasión para cada una de las áreas del panel de ensaye, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$RA = \frac{V}{E}$$

donde:

- RA : Resistencia a la abrasión en l/mm, del área desgastada;
- V : Volumen, en l, de arena usada.
- E : Espesor de la película en mm.

**6.2** Calcule el promedio de los valores de resistencia a la abrasión obtenidos en las 3 áreas de un mismo panel de ensaye. El valor de resistencia a la abrasión seca de la película corresponde al promedio de los valores calculados para los 2 paneles de ensaye.

**7.- Informe.** Informe las características siguientes:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Temperatura y humedad en las que se curó la muestra y en las cuales se llevó a cabo el ensaye.
- c) Espesor seco de la película, volumen de arena usada y resistencia a la abrasión.
- d) Valor promedio de la resistencia a la abrasión para cada lámina.
- e) Valor promedio de resistencia a la abrasión de los paneles de ensayes duplicados.
- f) Fecha de ensaye.
- g) Observaciones.

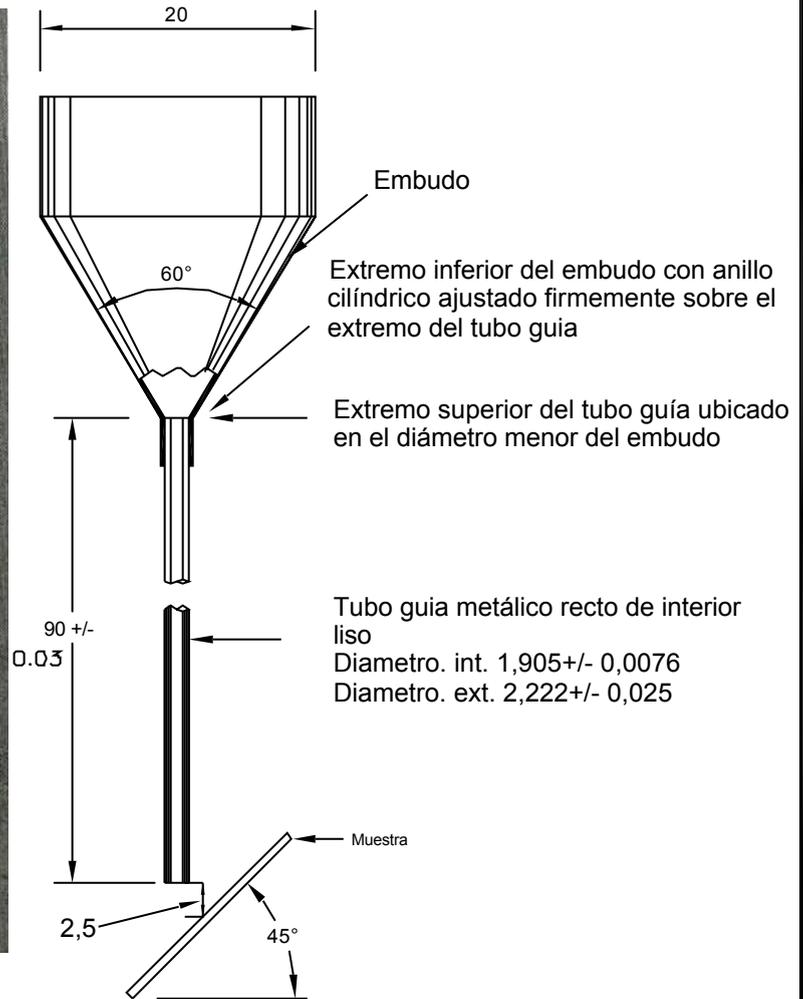
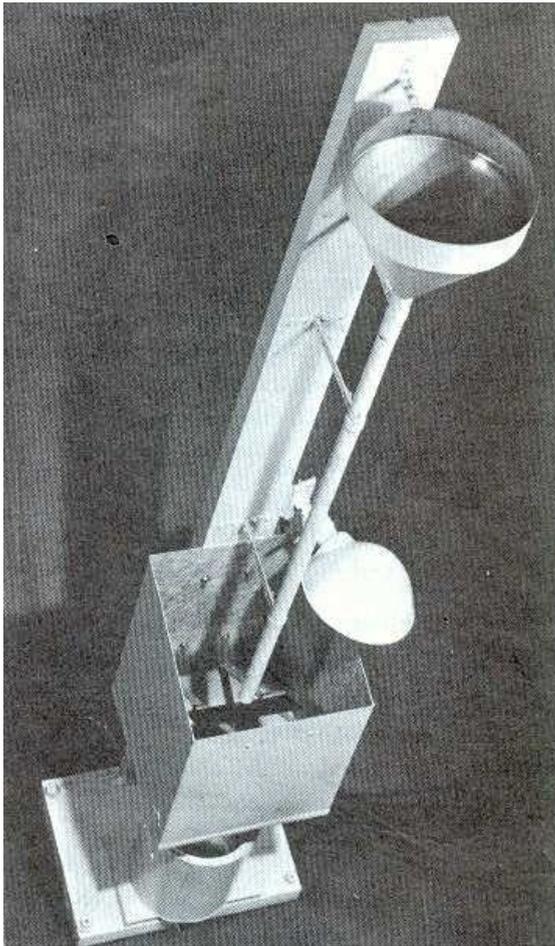


fig. 1 y 2 Detalles del diseño del aparato de abrasión

Medidas en cm.

## **8.602.29 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION DE LA ADHERENCIA DE PRODUCTOS DE DEMARCAACION VIAL HORIZONTAL**

### **1. Alcance y Campo de Aplicación.**

**1.1** Esta norma especifica los métodos de ensaye para determinar la adhesión de un recubrimiento simple o de un sistema de capas múltiples de pintura.

**1.2** Este método es apropiado para sustratos rígidos.

### **2.- Referencias.**

- ISO 4624:2002 Paints and varnishes-Pull-off test for adhesion
- Nch 1007 Pinturas – Determinación del espesor de película seca.
- Nch 2144.Of89 Pinturas y productos afines- Muestreo
- 8.602.18 Método de muestreo y control de los productos de señalización vial horizontal

**3.- Resumen del Método.** El método se basa en recubrir un cilindro con una capa de adhesivo y colocarlo, sobre una probeta recubierta con una película seca del producto de demarcación a ensayar o sobre la demarcación en el pavimento y dejar el conjunto alineado durante el tiempo que dure el curado del adhesivo. La adhesión del producto de demarcación se mide en términos de la mínima fuerza de tracción necesaria para romper la interfase adhesivo-producto de demarcación.

### **4.- Aparato.**

**4.1 Aparato de Ensaye de Tracción.** Capaz de realizar el procedimiento que se explica en el punto 5. La fuerza de tracción debe aplicarse en una dirección perpendicular al plano del sustrato recubierto y debe aumentarse a una velocidad uniforme, no mayor de 1 MPa/s , de manera que la falla de la unión ensayada se produzca en un lapso de 90 s. La Lámina 8.602.29.A indica el diseño apropiado para la aplicación de la fuerza de tracción.

**Nota 1:** En lugar de la máquina de tracción , otros equipos de tracción pueden ser usados con tal que ellos entreguen resultados similares. El tipo de instrumento debería ser informado porque instrumentos manuales, mecánicos e hidráulicos pueden producir resultados muy diferentes.

**Nota 2:** Los resultados no son reproducibles a menos que el alineamiento coaxial de las fuerzas de tracción esté asegurado.

**4.2 Cilindros de Ensaye.** Consiste en cilindros de acero o aluminio específicamente diseñados para ser usados en el equipo de tracción (4.1), cada cilindro debe ser rígido con una cara plana para colocar el adhesivo y el otro extremo con un sistema adecuado para conectarlo al aparato de tracción, con un diámetro nominal de 20 mm y de un espesor suficiente para asegurar que no se distorsionen durante el ensaye. Se recomienda que el largo del cilindro sea no menor a la mitad de su diámetro. Antes de su uso, las caras deben ser sometidas a rectificado perpendicular al eje longitudinal.

**4.3 Aparato para Centrar.** Que asegure un alineamiento coaxial adecuado al conjunto de ensaye durante el proceso de adhesión, de acuerdo a lo que se especifica en el punto 5.4 b. En la Lámina 8.602.29.B se muestra un diseño apropiado para este aparato.

**4.4 Aparato para Cortar.** Un cuchillo afilado, apropiado para separar el adhesivo curado y el recubrimiento de pintura alrededor de la circunferencia del cilindro de ensaye.

## 5.- Procedimiento de Ensaye.

**5.1 Selección del Adhesivo.** Se necesita especial atención para seleccionar los adhesivos apropiados que se usen en el ensaye. Para producir una falla del recubrimiento, es esencial que las propiedades de cohesión y unión del adhesivo sean mayores que las del producto de demarcación que se ensaya.

Efectuar un ensaye preliminar con el objeto de determinar si el adhesivo es adecuado para su uso, lo cual se comprueba si el mismo provoca pocos o ningún cambio visible sobre el recubrimiento que se ensaya al ser dejado en contacto con éste durante un periodo equivalente al tiempo de curado del adhesivo.

Se considera que un adhesivo es apropiado para un recubrimiento específico, cuando la falla ocurre en la interfase recubrimiento-sustrato.

En la mayoría de los casos son adecuados los adhesivos cianoacrilato, epóxico de dos componentes y poliéster catalizado por peróxido.

En ensayos especiales bajo altas condiciones de humedad, el tiempo de curado del adhesivo debería ser lo más corto posible. El uso de adhesivo epóxico de dos componentes de secado rápido es preferible en estas situaciones.

**5.2 Muestreo.** Tomar muestras representativas del producto, de acuerdo a lo que se especifica en Método 8.602.18 Seguridad Vial: Método de Muestreo y Control de los Productos de Señalización Vial Horizontal

### 5.3 Preparación de la Muestra en Laboratorio.

- a) Prepare el sustrato de ensaye de acuerdo a alguno de los descritos en la ISO 1514 (usando el más parecido a aquel pavimento donde se va a aplicar). Aplique el producto de demarcación a ensayar con un espesor de 380  $\mu\text{m}$ .
- b) Deje secar el sustrato recubierto durante un tiempo especificado a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa, dejándolo en dichas condiciones durante 16 h mínimo. Efectúe el ensaye lo antes posible después del acondicionamiento de la muestra.
- c) Determine el espesor de la película seca en micrones, de acuerdo a lo que se indica en norma Nch-1007.

**Nota 3:** Se recomienda que las probetas de ensaye sean del mismo material que el sustrato sobre el cual se va a aplicar el producto.

### 5.4 Ensaye en Laboratorio.

**5.4.1 Consideraciones Previas.** Efectúe el ensaye a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de humedad relativa. Respecto de los adhesivos preparar y aplicar el adhesivo de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Use la mínima cantidad de adhesivo necesaria para producir una unión firme, continua y uniforme entre los componentes del conjunto de ensaye. Si es posible, saque inmediatamente cualquier exceso de adhesivo.

**Nota 4:** La adhesión en la interfase de la película de adhesivo puede mejorarse raspando ligeramente la superficie de la película seca antes de aplicar la cara con adhesivo del cilindro de ensaye.

#### 5.4.2 Método de Ensaye.

- a) Aplique en forma pareja el adhesivo sobre la superficie no recubierta y recientemente limpiada de un cilindro de ensaye (4.2).
- b) Coloque la cara recubierta con adhesivo del cilindro de ensaye sobre la probeta preparada de acuerdo a 5.3 o sobre la demarcación en el pavimento durante un periodo equivalente al tiempo de curado del adhesivo (ver nota 4).
- c) Al final de este periodo, corte completamente el sustrato pasando el aparato para cortar (4.4) cuidadosamente alrededor de la circunferencia del cilindro de ensaye.

- d) Coloque el conjunto así preparado en el aparato de ensaye de tracción (4.1) inmediatamente después de que ha terminado el periodo de curado del adhesivo, teniendo cuidado de alinear los cilindros de ensaye para que la fuerza de tracción se aplique en forma uniforme en toda el área de prueba sin un momento flexor.
- e) Aplique una fuerza creciente de tracción a una razón no mayor de 1 MPa/s (1MN/m<sup>2</sup>.s), perpendicular al plano del sustrato recubierto de manera de que la falla del conjunto de ensaye se produzca dentro de un periodo de 90 s a contar de la aplicación inicial de la fuerza.
- f) Registre la fuerza de tracción necesaria para romper el conjunto de ensaye y examinar las superficies fracturadas de acuerdo con 6.2.
- g) Efectúe como mínimo seis determinaciones.
- h) Informe el resultado de todas las determinaciones.

**Nota 5:** Si la falla se asocia principalmente al adhesivo, se pueden obtener resultados más útiles usando otro tipo de adhesivo.

## 6.- Resultados.

**6.1 Fuerza de Ruptura .** Calcule la fuerza de ruptura de cada conjunto de ensaye, en MPa, de acuerdo a la siguiente formula:

$$R = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2}$$

donde:

- R: Resistencia a ruptura, en MPa
- F: Fuerza de ruptura, en Newton;
- d: Diámetro, mm del cilindro de ensaye

**6.2 Naturaleza de la falla.** Expresar el resultado como el área porcentual media y naturaleza de la falla del sistema.

Por conveniencia se sugiere usar la siguiente designación para expresar los resultados observados:

- A = falla de cohesión del sustrato;
- A/B = falla de adhesión entre el sustrato y la primera capa;
- B = falla de cohesión de la primera capa;
- B/C = falla de adhesión entre la primera y la segunda capa;
- H = falla de cohesión de  $\eta$  recubrimientos de un sistema de multicapas;
- /Y = falla de adhesión entre la última capa y el adhesivo;
- Y = falla de cohesión del adhesivo;
- Y/Z = falla de adhesión entre el adhesivo y el cilindro de ensaye.

Cuando no se logra que falle en la interfase pintura-sustrato, revise la preparación y aplicación del recubrimiento y el adhesivo.

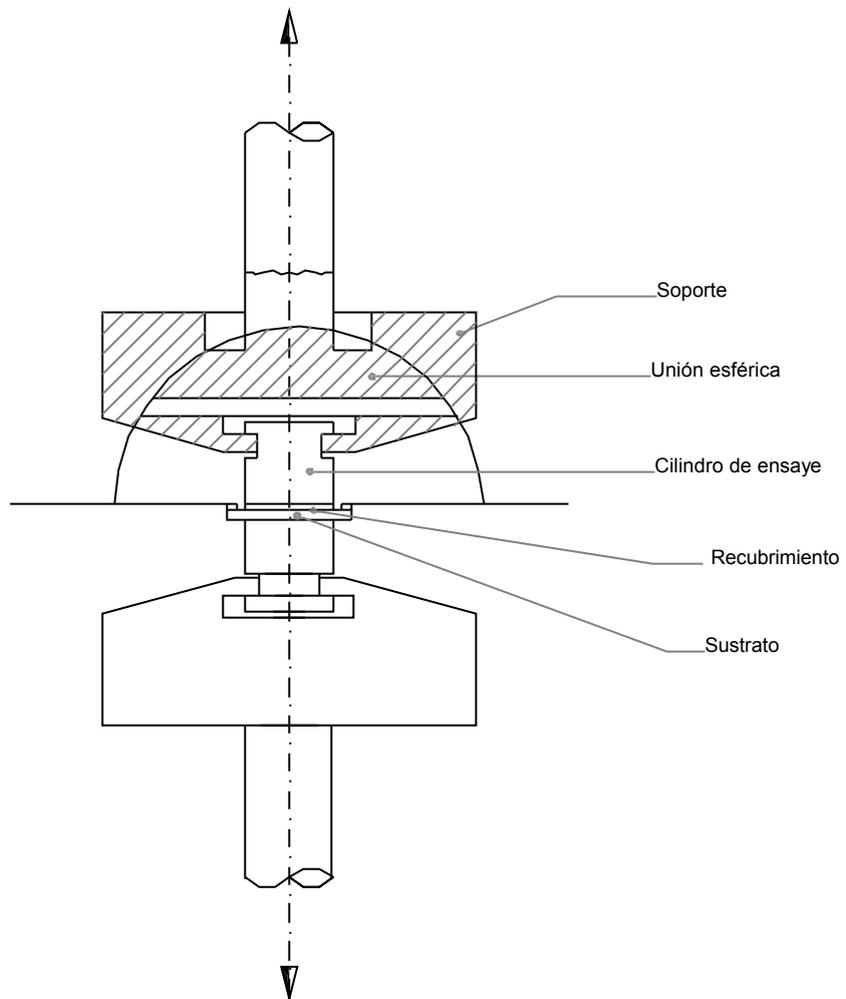
**6.3 Ejemplo.** Si un sistema de pintura ensayado con este método se rompe al ejercer una fuerza de tracción de 20 MPa y el examen del área a cada lado del sitio de separación indica que aproximadamente un 30% del área del cilindro de ensaye se asocia con una ruptura de cohesión de la primera capa y un 70% del área del cilindro se asocia con una ruptura de adhesión entre la primera y segunda capa de recubrimiento, exprese el resultado del ensaye de adhesión como se indica:

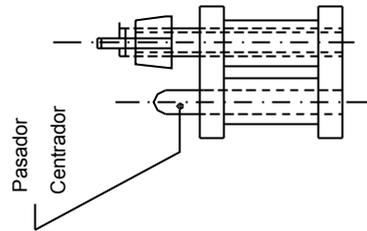
20 MPa, 30%B, 70% B/C

**7.- Informe.** El informe debe indicar.

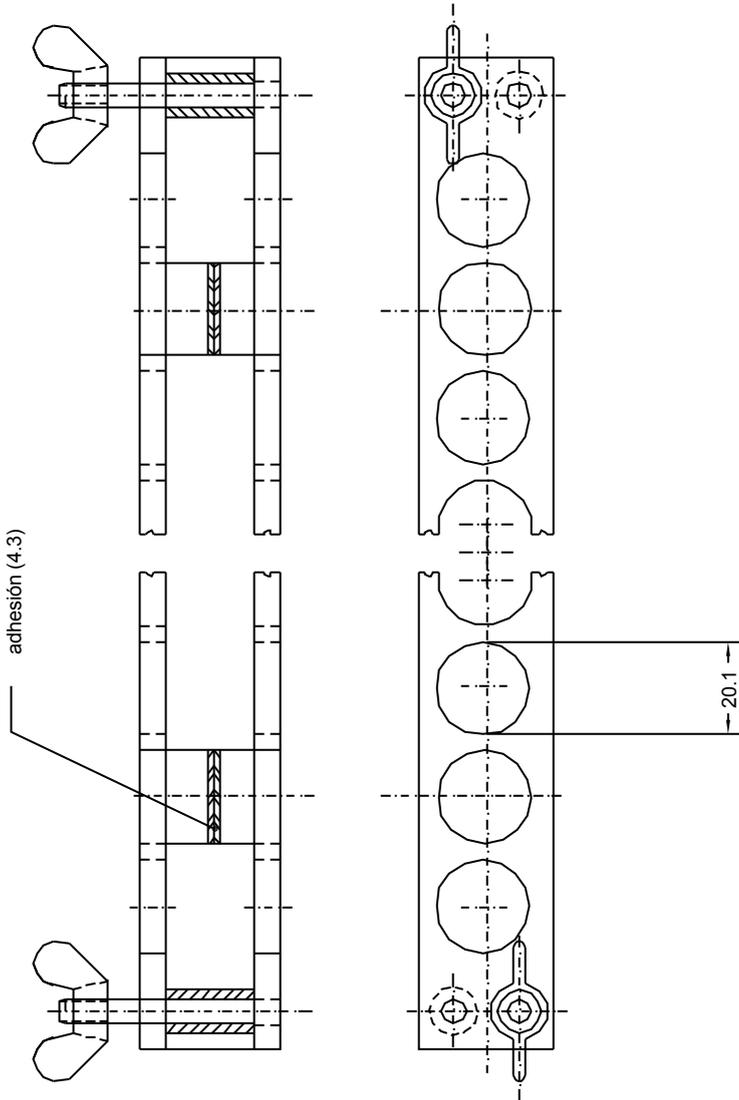
- a) Material del sustrato, espesor y preparación superficial;
- b) Método de aplicación del recubrimiento al sustrato;
- c) Duración y condiciones del secado del recubrimiento (o, si es aplicable, condiciones de envejecimiento) antes del ensaye;
- d) Espesor de la película seca, en micrones, incluyendo su método de medición y si se trata de un recubrimiento simple o de un sistema de múltiples capa;
- e) El adhesivo (y las proporciones de mezclas, si es aplicable) y las condiciones de curado;
- f) Duración y condiciones entre la unión y el ensaye;
- g) Tipo de aparato de tracción y diámetro del cilindro de ensaye;
- h) Temperatura y humedad de el ensaye, si difiere de las especificadas;
- i) Tipo e identificación del o los productos ensayados;
- j) Resultado del o los ensayes;
- k) Fecha de ensaye;
- l) Observaciones.

**8.- Precisión.** Datos de precisión no relevantes están disponibles. Datos para un método relacionado están dados en ASTM D-4541.





Alineación del conjunto de  
ensaye para el proceso de  
adhesión (4.3)



Dimensiones en mm.

## **8.602.30 SEGURIDAD VIAL: METODO DE ENSAYE PARA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA PRODUCTOS TERMOPLASTICOS DE APLICACION EN CALIENTE PARA DEMARCAACION VIAL HORIZONTAL**

### **1.- Objetivo y Campo de Aplicación.**

**1.1** Esta norma describe un procedimiento que debe seguirse para la determinación del punto de ablandamiento anillo y bola de los materiales termoplásticos de aplicación en caliente utilizados en la señalización horizontal de carreteras.

**1.2** Este método es de aplicación a materiales termoplásticos basados en resinas de hidrocarburos o ésteres de colofonia, modificados o no, de punto de ablandamiento comprendido entre 30° y 200°C.

### **2.- Referencias.**

- UNE 135-222-94 Señalización Horizontal. Termoplásticos de aplicación en caliente. Determinación del punto de reblandecimiento.

**3.- Resumen del Método.** Para realizar el ensaye se calientan en un baño de agua o de glicerina, en condiciones determinadas, una probeta en forma de disco de material a ensayar sobre la que se apoya una bola de acero hasta que, deformada la probeta por la acción del calor, dicha bola toca la placa de referencia situada 25 mm por debajo de la probeta.

### **4.- Terminología.**

**Punto de Ablandamiento.** Es la menor temperatura a la que una muestra suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita en un baño de agua o glicerina.

**Nota 1:** La evaluación del punto de ablandamiento debe efectuarse mediante un procedimiento bien determinado en condiciones muy estrictas si han de obtenerse resultados comparables, debido a que en general, los materiales termoplásticos de aplicación en caliente no presentan una temperatura de fusión fija y definida, por lo que cuando se calientan, van pasando gradual e imperceptiblemente desde una consistencia quebradiza o muy pastosa a otra más blanda y fluida.

### **5.- Aparatos.**

#### **5.1 Baño de Calentamiento.**

- a) Para materiales termoplásticos de punto de ablandamiento inferior a 80°C se empleará agua destilada, recientemente hervida, para evitar la formación de burbujas de aire sobre la probeta que pueden afectar a los resultados.
- b) Para materiales termoplásticos de punto de reblandecimiento superior a 80°C se empleará glicerina bidestilada.

**5.2 Equipo.** El aparato debe estar compuesto de los elementos siguientes:

- a) Un vaso de vidrio de 800 ml resistente al calor que posea un diámetro mínimo de 85 mm y una altura no inferior a 120 mm.
- b) Dos anillos trococónicos de bronce con la forma y dimensiones de la figura 1 de la Lámina 8.602.30.A.
- c) Dos bolas de acero de 9,5 mm de diámetro y una masa comprendida entre 3,45 y 3,55 g.

- d) Dos guías de bronce para centrado de las bolas sobre la probeta con la forma y dimensiones de la figura 2 de la Lámina 8.602.30.A.
- e) Un soporte de bronce, con la forma y dimensiones de la figura 3 de la Lámina 8.602.30.A, para montar los dos anillos con la muestra en el baño.
- f) Dos termómetros para puntos de ablandamiento a baja y alta temperatura, de acuerdo con las características indicadas en Tabla 8.602.30.A (Tipo ASTM).
- g) Una placa de bronce rectangular de unos 50mm x 75 mm y de superficie plana y pulida para relleno de los anillos. A objeto de evitar que el material termoplástico quede adherido a la placa, puede emplearse una mezcla a partes iguales de glicerina y dextrina o bien talco.
- h) El montaje completo del aparato, dispuesto para su colocación en el baño, se muestra en la figura 4 de la Lámina 8.602.30.A. Este montaje cumplirá las condiciones siguientes:
  - Los anillos deberán quedar en posición horizontal y con su parte inferior a una distancia de 25 mm de la cara superior de la placa de referencia (figura 5 de la Lámina 8.602.30.A).
  - La distancia entre la placa de referencia y el fondo del baño estará comprendida entre 13 mm y 19mm debiendo poder ajustarse, esta distancia, mediante unos tornillos reguladores.
  - El termómetro se situará en el centro del baño con el fondo del bulbo a igual altura que la parte inferior de los anillos y a una distancia de éstos inferior a 13 mm y sin tocarlos.

**TABLA 8.602.30.A**  
**CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS TERMOMETROS A UTILIZAR**  
**EN LA DETERMINACION DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE LOS MATERIALES**  
**TERMOPLASTICOS DE APLICACION EN CALIENTE**

Tipo	Escala °C	Graduación °C	Longitud total mm	Error máximo °C	Tipo ASTM
Baja temperatura	-2 a 80	0,2	397	0,2	15 C
Alta temperatura	30 a 200	0,5	397	0,3	16 C

## 6.- Procedimiento.

**6.1 Preparación de la Muestra.** Una muestra representativa de unos 250g del material termoplástico se calentará cuidadosamente, evitando los sobrecalentamientos locales y bajo agitación constante tan pronto como su consistencia lo permita, hasta que se encuentre lo suficientemente fluida y homogénea para llevar a cabo el llenado de los anillos. Es conveniente que la temperatura de calentamiento esté entre 180°C y 200°C y que el tiempo de calefacción del material termoplástico no exceda los 30 min.

El anillo previamente calentado a una temperatura cercana a la del vertido, se colocará sobre una placa de bronce impregnada con una capa fina de sustancia antiadherente procediéndose, a continuación, a su llenado con un ligero exceso de material termoplástico a objeto de conseguir, una vez enfriada la probeta, un sobrante de material por encima del borde del anillo. Se preparan dos anillos por cada muestra de material termoplástico y ensaye.

Una vez llenos los anillos se dejarán enfriar durante un tiempo mínimo de 3 horas teniendo en cuenta que no deben transcurrir más de 4 horas hasta la terminación del ensaye. Las muestras que a temperatura ambiente posean una consistencia blanda, deberán enfriarse, al menos durante 30 minutos a una temperatura que sea como mínimo 8°C más baja que la supuesta para su punto de ablandamiento. A continuación los anillos deberán enrasarse cortando el exceso de material con un cuchillo o una espátula caliente. En caso de tener que repetir el ensaye, se empleará una nueva muestra y anillos limpios.

**6.2 Procedimiento para Materiales con Punto de Ablandamiento Igual o Inferior a 80°C.** El aparato se monta en el baño (ver figura 4 de la Lámina 8.602.30.A) colocando el soporte con los dos anillos, las guías de centrado de las bolas y el termómetro de baja temperatura enrasado tal y como se describe en el punto 5.2 h).

El baño se llena con agua destilada, recién hervida, a la temperatura de 5°C±1°C hasta un nivel comprendido entre 102 mm y 108 mm a partir del fondo. A continuación, se introducen las esferas metálicas dejándolas en el fondo del baño.

El baño deberá mantenerse a la temperatura indicada durante 15 min, colocándolo, si fuera necesario, en un medio refrigerante adecuado. A continuación, y con ayuda de unas pinzas se colocan las bolas, centradas en sus guías, sobre cada uno de los anillos ya rellenos del material a ensayar.

Una vez realizada la instalación se comienza a aplicar calor al baño de tal forma que la temperatura se eleve a una velocidad constante de 5°C por minuto empleado, si fuera necesario, algún tipo de pantalla para evitar la acción de las corrientes de aire. Esta velocidad deberá mantenerse uniforme a lo largo de todo el ensaye, no permitiéndose a partir del tercer minuto de su comienzo, una variación superior a 0,5°C en cada minuto. Si esta tolerancia, en cualquier instante del calentamiento no puede mantenerse, el ensaye deberá detenerse y ser anulado. El calentamiento puede realizarse con un mechero de gas o mediante una manta eléctrica con regulación de temperatura y de baja inercia térmica.

La temperatura leída directamente en el termómetro, en el instante en que la bola toca la placa de referencia, se tomará como punto de ablandamiento, no haciéndose corrección alguna debida a la parte de la varilla del termómetro no sumergida.

Se anotarán las temperaturas del punto de ablandamiento de cada uno de los anillos ensayados. Si la diferencia de temperatura entre ambas es superior a 1°C, el ensaye debe anularse y repetirse.

**6.3 Procedimiento para Materiales con Punto de Ablandamiento Superior a 80°C.** El procedimiento a seguir es el mismo al descrito en el punto 6.2, pero con las siguientes variaciones:

- a) Se emplea glicerina bidestilada.
- b) Se emplea el termómetro de alta temperatura.
- c) El comienzo de la calefacción (ver 6.2) deberá ser a partir de una temperatura de 32°C en la glicerina.

**7.- Resultados.** Se registrará como punto de ablandamiento anillo y bola, la temperatura en °C obtenida como valor medio de las dos determinaciones realizadas según 6.2.

Si se emplea el termómetro de baja temperatura, el resultado se expresará con una aproximación de 0,2°C, mientras que si se utiliza el termómetro de alta temperatura, el resultado se expresará con una aproximación de 0,5°C.

En materiales con un punto de ablandamiento próximo a 80°C se hará constar en el resultado, la naturaleza del líquido del baño ya que el baño de glicerina proporciona resultados más altos que el de agua.

**8.- Precisión.**

**8.1 Repetibilidad.** Los ensayes realizados por duplicado, por un mismo operador, se considerarán satisfactorios si no difieren en más de 1°C.

**8.2 Reproducibilidad.** Dos ensayes realizados por distintos operadores o laboratorios, sobre una misma muestra representativa, se considerarán satisfactorios si no difieren en más de 2°C.

**9.- Informe.** Informe las características siguientes:

- a) Naturaleza e identificación de la muestra ensayada.
- b) Naturaleza del líquido del baño.
- c) Cualquier desviación, acordada o no, respecto al procedimiento de ensaye.
- d) Referencia a este Método.
- e) Resultado del ensaye.
- f) Fecha de ensaye.

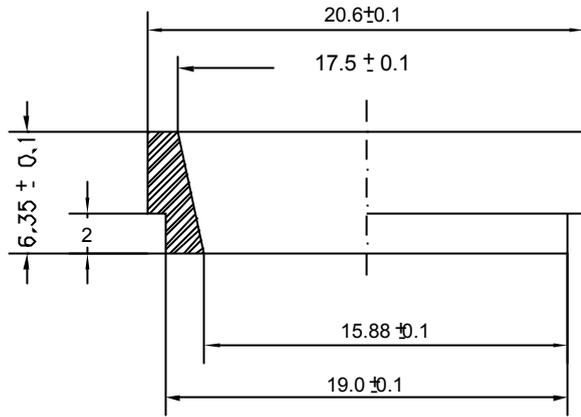


Fig. 1 Anillo

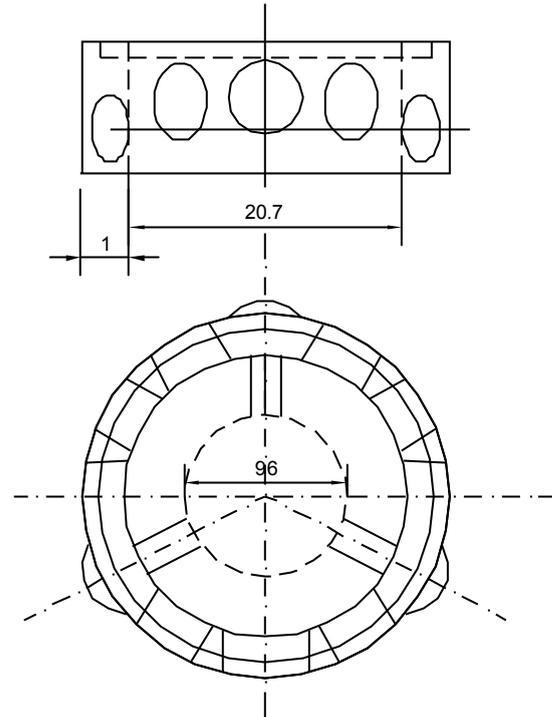


Fig. 2 Guia de centrado de la bola

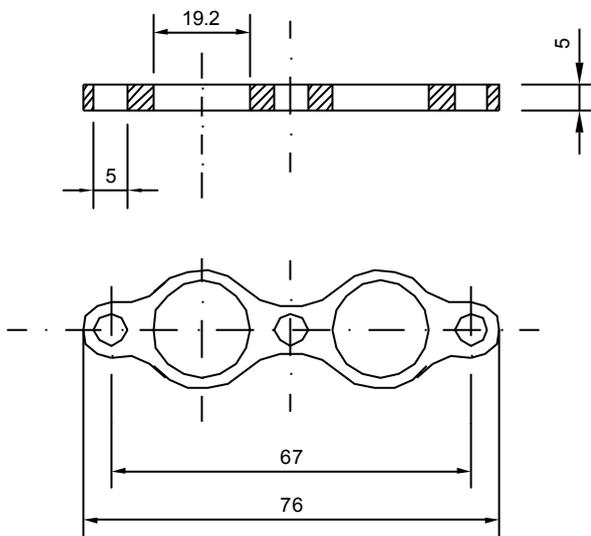


Fig. 3 Soporte anillos

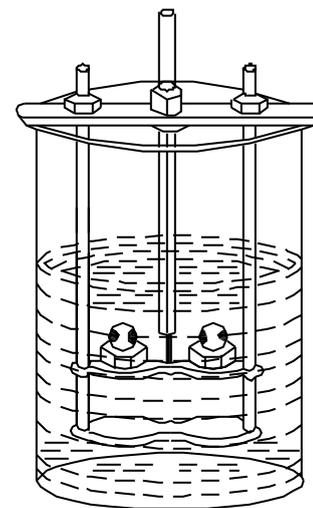


Fig. 4 Conjunto

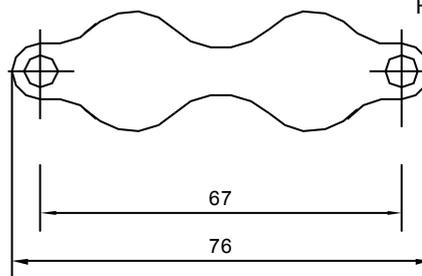


Fig. 5 Dimensiones de la placa de referencia inferior del aparato

Dimensiones en mm.

# **MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN N°8**

**ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE  
MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

## **CAPITULO 8.700 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

**DIRECCION DE VIALIDAD  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
CHILE**



**MANUAL DE CARRETERAS**

**VOLUMEN 8**

**ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

**INDICE**

**CAPITULO 8.700 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

**INTRODUCCION**

**SECCION 8.701 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

- 8.701.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON DE APLICACION EN FRIO**
- 8.701.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO DE APLICACION EN CALIENTE**
- 8.701.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON**
- 8.701.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE, PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO**

**SECCION 8.702 METODOS PARA PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

- 8.702.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON DE APLICACION EN FRIO**
- 8.702.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO APLICADOS EN CALIENTE**
- 8.702.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON**
- 8.702.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO**



## **MANUAL DE CARRETERAS**

### **VOLUMEN 8**

#### **ESPECIFICACIONES Y METODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL**

##### **CAPITULO 8.700 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS**

###### **INTRODUCCION**

El Capítulo 8.700 Productos para Juntas y Grietas, contiene las exigencias a que deben ajustarse los productos de sellado y describe los procedimientos de ensayos a que deben ser sometidos para comprobar su calidad. Al igual que otros Capítulos de este Volumen, éste se presenta dividido en dos partes; las Especificaciones están dedicadas a establecer requisitos, en tanto que los Métodos incluyen los procedimientos para realizar los ensayos propiamente tales.

En las Especificaciones (8.701.1 a la 8.701.4) se incluyen los requisitos que se exigen para cuatro tipos de sellantes para grietas y juntas para pavimentos de hormigón y grietas de capas de rodadura asfálticas.

La parte en que se describen los procedimientos para ensayar los materiales para sellar juntas y grietas, está compuesta por 4 Métodos, numerados desde el 8.702.1 al 8.702.4. Ellos describen la forma en que deben ensayarse los cuatro productos definidos en las Especificaciones; sellantes de aplicación en frío y en caliente, sellantes tipo elásticos de aplicación en caliente y sellantes tipo elastoméricos para pavimentos de hormigón.



## CAPITULO 8.700 – PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS

### SECCION 8.701 ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS

#### 8.701.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON DE APLICACION EN FRIO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define las características de productos sellantes de aplicación en frío, tipo mastic, de uno o múltiples componentes o mezclas preparadas, destinadas a sellar juntas de pavimentos de hormigón, puentes y otras estructuras (ver Apéndice), cuyo ancho sea mayor a 10 mm. En todo caso, el fabricante del sellante debe indicar la aplicabilidad de esta especificación a su producto.

\*El Método 8.701.1 es una adaptación de la norma ASTM D 1850 – 74.

#### 2.- Requisitos Generales.

**2.1 Características.** Dependiendo de su objetivo, el producto sellador estará compuesto de una, dos o más sustancias a mezclar antes de aplicarlo. Cualquiera fuere el número de componentes, éstos deberán combinarse fácilmente para obtener una mezcla homogénea por medio de agitación mecánica o manual y sin que resulte necesario calentarlos a más de 38°C. Una vez curados, deberán constituir un material que tendrá elasticidad y adherencia, que permita sellar efectivamente las infiltraciones de humedad por juntas de hormigón sometidas a ciclos repetidos de elongación y contracción. Asimismo, no deberá fluir desde la junta, ni ser arrancado por las ruedas de vehículos durante el periodo de altas temperaturas del verano; además, deberá poder verterse fácilmente a 21°C de temperatura y permanecer en condición adecuada para su aplicación por un mínimo de 1 h.

**2.2 Condición de Trabajo.** Después de curado, el sellante, deberá quedar firmemente adherido a un hormigón seco y limpio (libre de polvo) o a un hormigón húmedo, pero sin humedad libre superficial.

#### 3.- Requisitos Físicos.

**3.1 Penetración.** Después de curado, la penetración, a 25°C y 150 g por 5 s, no deberá ser mayor que 235.

**3.2 Flujo.** Después de curado, el flujo no será mayor que 5 mm.

**3.3 Ligazón.** Una vez curado, no deberá fallar por adherencia o cohesión, cuando se ensaye como se indica en 5. Este ensaye, que consta de cinco ciclos de elongación y compresión, considera que se presenta una falla, cuando en cualquier momento durante el ensaye se produce una grieta, separación u abertura, en el propio sellante o entre éste y el bloque de mortero y que evoluciona hasta sobrepasar 6,5 mm de profundidad. La profundidad de la grieta, separación o abertura debe medirse perpendicularmente al lado del defecto que muestra el sello.

Se considerará que el producto sellante no cumple con el ensaye de ligazón, si en dos de un grupo de tres probetas, que comprende el ensaye completo, se presentan grietas de más de 6,5 mm de profundidad.

**4.- Muestreo.** Se deberán extraer cantidades suficientes de cada componente de manera de obtener un total de 4 l del material sellante. El muestreo se ajustará a lo señalado en el Método 8.302.1.

**5.- Método de Ensaye.** Los requisitos físicos enumerados en esta especificación deberán controlarse según el Método 8.702.1.

**Apéndice A.** Precauciones para el uso y aplicación de productos sellantes de juntas de hormigón del tipo aplicación en frío.

**A.1** Los sellantes que cumplan con esta especificación podrán usarse para sellar juntas de pavimentos de hormigón nuevos y para resellados en labores de mantenimiento.

**A.2** Los equipos que se utilizan para sellar juntas incluyen generalmente, una bomba para trabajo pesado, operada con aire y capaz de alimentar en forma continua y a presión, el producto sellador. Su diseño permite llenar completamente la junta sin dejar discontinuidades, vacíos o aire atrapado. Pueden utilizarse otros procedimientos de aplicación que demuestren ser satisfactorios a la Inspección Fiscal.

**A.3** Antes de aplicar el sellante, las juntas a sellar deben encontrarse secas, libres de incrustaciones, partículas extrañas, polvo, compuestos de curado, materia extraña, o sellos antiguos. La limpieza deberá realizarla un operador adiestrado provisto de herramientas adecuadas, diseñadas para la limpieza de la junta de pavimentos. Las paredes laterales deberán limpiarse con aire comprimido.

**A.4** Siempre resulta recomendable utilizar un elemento de respaldo, como un cordón de caucho, en el fondo de la junta a llenar. Este permite controlar la profundidad que alcanza el producto sellador, se obtiene el factor de forma adecuada y se protege el producto contra cortes y hundimientos. Deberá constatarse que los elementos de soporte o cordones de caucho por utilizar sean compatibles con el sellante; no debe existir adherencia entre ambos, el cordón debe ser compresible y no debe empujar el sellador ni los recubridores, manteniéndose en contacto con las caras de la junta, cuando ésta se encuentra abierta.

**A.5** El sellado debe alcanzar 6 mm bajo la superficie del pavimento adyacente, evitando sobrellenados del espacio de la junta. La labor sólo deberá ser ejecutada por un operador adiestrado y provisto del equipo adecuado.

**A.6** Algunos de los productos que cumplen con esta especificación deben ser protegidos del tránsito durante el período de curado. La protección consistirá de una tira de papel grueso u otro elemento aprobado para cubrir la junta inmediatamente después de aplicado el sellante. Salvo que se indique otro procedimiento, la protección deberá permanecer cubriendo la junta hasta que lentamente el tránsito la desgaste.

## 8.701.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO DE APLICACION EN CALIENTE\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define las características de productos sellantes del tipo elástico aplicados en caliente, destinados a sellar juntas de pavimentos de hormigón, puentes y otras estructuras. El fabricante del sellante debe indicar la aplicabilidad de esta especificación a su producto.

\* El Método 8.701.2 es una adaptación de la norma ASTM D 1190 - 74.

**2.- Requisitos Generales.** Los productos sellantes de juntas que se especifican estarán constituidos por sustancias que forman un compuesto elástico y adhesivo, capaz de sellar efectivamente las infiltraciones de humedad y materias extrañas en juntas de hormigón sometidas a ciclos repetidos de elongación y contracción con los cambios de temperaturas. Asimismo, no deberán fluir desde la junta, ni ser arrancados por las ruedas de vehículos durante el periodo de altas temperaturas del verano. Será posible darles una consistencia adecuada para lograr un vaciado uniforme y que llene completamente las juntas, sin crear discontinuidades, vacíos o grandes burbujas de aire.

### 3.- Requisitos Físicos.

**3.1 Punto de Vaciado.** El punto de vaciado será al menos 11°C más bajo que la temperatura de seguridad de calentamiento, que es la máxima temperatura a la que el material puede ser calentado sin que exceda el flujo admisible.

**3.2 Penetración.** La penetración a 25°C, 150 g, 5 s no debe exceder de 90.

**3.3 Flujo.** El flujo a 60°C no debe exceder de 5 mm.

**3.4 Ligazón.** El sellante se ensayará a -5°C, por cinco ciclos de elongación y compresión. Considere que se presenta una falla, cuando en cualquier momento durante el ensaye se produce una grieta, separación o abertura, en el propio sellante o entre éste y el bloque de mortero, y que evoluciona hasta sobrepasar 6,5 mm de profundidad. La profundidad de la grieta, separación o abertura debe medirse perpendicularmente al lado del defecto que muestra el sello. Cuando se use en zonas cordilleranas o en las regiones Undécima y Duodécima se ensayará a -15°C.

Se considerará que el producto sellante no cumple con el ensaye de ligazón, si en dos, de un grupo de tres probetas que comprende el ensaye completo, se presentan grietas de más de 6,5 mm de profundidad.

**3.5 Reensaye de la Ligazón.** Si un primer conjunto de probetas preparadas no satisfacen los requisitos de ligazón, el ensaye deberá repetirse con un nuevo conjunto. Las probetas para reensayes serán preparadas con el sello de junta calentado a una temperatura más alta de la que fue usada para las probetas que fallaron; sin embargo, esa temperatura será al menos 11°C más baja que la temperatura de seguridad de calentamiento.

**4.- Muestreo.** La muestra del producto a ensayar pesará no menos de 4,5 kg, debiéndose extraer una muestra por cada partida de sellante que se va a utilizar. Se considerará que una cantidad completamente terminada constituye una partida cuando ha sido manufacturada simultánea o continuamente, como una unidad entre la etapa de preparación hasta la de embalaje o colocación en envases para despacho. Todos los envases deberán venir marcados, indicando en forma clara la partida a que corresponden. El material de muestreo se ajustará a lo dispuesto en el Método 8.302.1, para materiales sólidos.

**5.- Métodos de Ensaye.** Los requisitos físicos enumerados en esta especificación deberán controlarse según el Método 8.702.2.

**Apéndice A.** Precauciones para el uso y aplicación de sellantes de juntas de hormigón tipo elástico, aplicados en caliente.

**A.1** Prácticamente todos los sellantes conocidos que cumplen con lo que aquí se especifica pueden dañarse por calentamiento a altas temperaturas o por calentamiento prolongado. El equipo para calentar deberá ser resistente y del tipo marmita o fundidor de doble fondo, que disponga de un espacio adecuado entre la carcasa interior y la exterior, para llenarlo con aceite u otro medio de transferencia del calor; no deberá calentarse con calor directo. Además, deberá disponer de elementos que permitan controlar la temperatura, y agitar mecánicamente el producto. Se podrán usar otros métodos de calentamiento indirecto siempre que ellos resulten satisfactorios a la Inspección Fiscal.

Para asegurarse que el producto no ha sufrido daños en terreno como resultado de un sobrecalentamiento o un calentamiento prolongado, periódicamente se deberán tomar muestras extraídas directamente del aplicador – fundidor; éstas se vaciarán al panel de flujo, donde se ensayarán. Un flujo mayor que 20 mm significa que el sellante ha sido dañado durante el proceso de calentamiento.

**A.2** Para colocar los productos que se ajustan a esta especificación, las juntas de pavimentos nuevos deben encontrarse secas, libres de toda incrustación, suciedad, polvo, compuesto de curado y otras materias extrañas. Las paredes entre los espacios de las juntas deberán limpiarse con aire comprimido y sellarse mediante el equipo aplicador – fundidor, descrito en A.1

**A.3** Antes de utilizar un producto sellante que cumpla con esta especificación, para sellar o resellar juntas como un trabajo de mantenimiento, deberá removerse todo resto de antiguos sellos mediante escobilla de acero u otra herramienta especialmente diseñada con ese propósito y luego soplar con aire comprimido. Las juntas deberán encontrarse secas y sin restos de material suelto o desprendido. El sellado deberá realizarse con el equipo aplicador – fundidor descrito en A.1.

**A.4** Siempre resulta recomendable utilizar un elemento de respaldo, como un cordón de caucho, en el fondo de la junta a ser sellada. Este permite controlar la profundidad que alcanza el producto sellante, se obtiene el factor de forma adecuado y se protege el producto contra cortes y hundimientos. Los materiales de soporte o cordones de caucho deben ser compatibles con el sellante, no deben adherirse a él, deben ser compresibles pero sin empujar el sellante y recubridores y mantener contacto con las caras de la junta, cuando ésta se abre. Debido a las elevadas temperaturas de aplicación de los materiales descritos en esta especificación, se debe tener cuidado en la selección del soporte.

**A.5** El sellado deberá alcanzar 6 mm bajo la superficie del pavimento adyacente; se deberá evitar cualquier sobrellenado de la junta y la labor sólo deberá ser realizada por un operador adiestrado.

### 8.701.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define las características de los productos sellantes del tipo elastomérico de un componente, aplicados en caliente, altamente resistente a los cambios climáticos, para juntas y grietas de pavimentos de hormigón de carreteras y aeropuertos. El fabricante del sellante deberá indicar la aplicabilidad de esta especificación a su producto.

\*El Método 8.701.3 es una adaptación de la norma ASTM D 3406 – 78.

**2.- Requisitos Generales.** Este tipo de sellante deberá constituir, una vez colocado, un material elástico, y adhesivo a las paredes de las juntas, altamente resistente a los cambios climáticos y que selle efectivamente las infiltraciones de humedad en juntas de hormigón sometidas a ciclos repetidos de expansiones y contracciones. Asimismo, no deberá fluir desde la junta, ni ser arrancado por las ruedas de los vehículos. Antes de colocarse, deberá verificarse su estabilidad a la temperatura de seguridad de calentamiento por hasta 6 h.

El sellante una vez colocado, no deberá presentar huecos internos, sean ellos producto de una colocación defectuosa o por un desarrollo posterior, durante la operación del pavimento.

#### 3.- Requisitos Físicos.

**3.1 Temperatura de Seguridad de Calentamiento.** La temperatura de seguridad de calentamiento se define como la más alta temperatura a la cual el compuesto sellante puede ser calentado sin dejar de cumplir con el requisito de flujo. Para los propósitos de ensayos, como se especifica más adelante, la temperatura de seguridad de calentamiento deberá ser proporcionada por el fabricante, mostrada en todos los contenedores e informada al laboratorio, antes de comenzar con los ensayos (ver Apéndice).

**3.2 Penetración.** La penetración a 25°C, 150 g, 5 s, no debe exceder de 130.

**3.3 Flujo.** No deberá fluir a  $70^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

**3.4 Ligazón.** El sellante se ensayará a  $-5^{\circ}\text{C}$  por tres ciclos de elongación y compresión. Considere que se presenta una falla, cuando en cualquier momento durante el ensaye se produce una grieta, separación o abertura, en el propio sellante o entre éste y el bloque de mortero y que evoluciona hasta sobrepasar 6,5 mm de profundidad. La profundidad de la grieta, separación o abertura debe medirse perpendicularmente al lado del defecto que muestra el sello. Cuando se use en zonas cordilleranas o en las regiones Undécima y Duodécima se ensayará a  $-15^{\circ}\text{C}$ .

El total de las tres probetas debe satisfacer los requisitos para ligazón.

**3.5 Resiliencia.** Cuando se ensaye a 25°C, la recuperación debe alcanzar un mínimo del 60%. La indentación inicial no debe exceder de 20 y no debe ser menor de 5.

**3.6 Condiciones Climáticas Artificiales.** El sellante no deberá fluir, ni ser pegajoso por la presencia de una película similar a aceite o reversión a una sustancia similar al mastic, no deberá formarse una superficie de ampollas, intactas o rotas, no presentará vacíos interiores, la superficie no se presentará cuarteada o agrietada, no presentará pérdidas o ganancias de resiliencia y las propiedades serán similares a las de la goma. Evidencias de cambios físicos en la superficie del material, detectadas mediante una inspección visual y al tacto, constituyen una falla de este ensaye.

**3.7 Tensión de Adhesión.** El promedio de tres probetas de ensaye debe ser de 500% de elongación, como mínimo.

**4.- Ensaye e Identificación.** Los sellantes de juntas deben proporcionarse en envases sellados de 20 l. En cada envase debe estar marcado claramente el nombre y dirección del fabricante, el nombre del sellante registrado, especificación a la que se ajusta, la partida de fabricación o número del lote, la temperatura

recomendada de vaciado, la temperatura de seguridad de calentamiento y las correspondientes instrucciones de aplicación.

## 5.- Muestreo.

**5.1** Las muestras deberán tomarse en algún punto de la fábrica o depósito o donde se encuentre almacenado para ser despachado a la faena. Será de responsabilidad del fabricante determinar que las muestras tomadas sean representativas de las partidas o lotes que se van a despachar a la faena.

**5.2** Para los ensayes, se deberán tomar no menos de 4,5 kg de sellante del tipo sólido, o 4 l de sellante del tipo líquido, por cada partida o lote sometido a muestreo. Se considerará como una partida o lote, a una cantidad de material terminado, que fue fabricado simultáneamente o en forma continua, es decir, sin mediar interrupciones entre su preparación hasta el envasado final para despacho. Las muestras deben obtenerse tomando aproximadamente iguales porciones de tres envases seleccionados al azar. No se debe usar calor para obtener las muestras; los productos sólidos deben cortarse con un cuchillo frío; los líquidos pueden vaciarse directamente del envase. Los tres envases desde los cuales se hayan extraído muestras, deben resellarse y marcarse para su identificación.

**6.- Método de Ensaye.** Los requisitos físicos enunciados en esta especificación serán determinados de acuerdo con el Método 8.701.3.

**Apéndice A.** Precauciones que se deben tener para el uso y aplicación de selladores de juntas del tipo elastomérico aplicados en caliente para pavimentos de hormigón son las siguientes:

**A.1** Prácticamente todos los sellantes conocidos que cumplen con lo que aquí se especifica, pueden dañarse por calentamiento a altas temperaturas o por calentamiento prolongado. El equipo para calentar deberá ser resistente y del tipo marmita o fundidor de doble fondo, que disponga de un espacio adecuado entre la carcasa interior y la exterior, para llenarla con aceite u otro medio de transferencia del calor; no deberá calentarse con calor directo. Además, deberá disponer de elementos que permitan controlar la temperatura, agitar mecánicamente el producto y de una bomba para su recirculación. Para asegurarse que el producto no ha sufrido daños durante este proceso, sea por sobrecalentamiento, o calentamiento prolongado, periódicamente se deberán tomar muestras extraídas directamente del aplicador – fundidor; éstas se vaciarán al panel de flujo donde se ensayarán. Cualquier flujo indica que el sellador ha sido dañado durante el proceso de calentamiento.

**A.2** Para colocar los productos que se ajustan a esta especificación las juntas de pavimentos nuevos deben encontrarse secas, libres de toda incrustación, suciedad, polvo, compuesto de curado y otras materias extrañas. Las paredes de la junta a ser sellada deberán limpiarse con aire comprimido y sellarse mediante el equipo aplicador - fundidor, descrito en A.1.

**A.3** Antes de utilizar un producto sellador que cumpla con esta especificación para sellar o resellar juntas como labor de mantenimiento, deberá removerse todo resto de antiguos sellos mediante escobilla de acero u otra herramienta especialmente diseñada con ese propósito y luego sopladas con aire comprimido; la junta deberá encontrarse seca y sin restos de material suelto o desprendido. El sellado deberá realizarse con el equipo aplicador – fundidor descrito en A.1.

**A.4** Siempre resulta recomendable utilizar un elemento de respaldo, como un cordón de caucho, en el fondo de la junta a ser sellada. Este permite controlar la profundidad que alcanza el producto sellador, se obtiene el factor de forma adecuada y se protege el producto contra cortes y hundimientos. Deberá constatar que los elementos de soporte o cordones de caucho a utilizar sean compatibles con el material, no deben adherirse al sellante, deben ser compresibles sin empujar el sellante y recubridores, para mantener contacto con las caras de la junta, cuando ésta se abre. En especial, deberá seleccionarse un elemento que soporte las elevadas temperaturas de aplicación que se utilizan para colocar los productos que aquí se especifican.

**A.5** El sellado deberá alcanzar 6 mm bajo la superficie del pavimento adyacente; se deberá evitar cualquier sobrellenado de la junta y la labor sólo deberá ser realizada por un operador adiestrado.

## 8.701.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: ESPECIFICACIONES PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE, PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Esta especificación define las características de los productos sellantes de aplicación en caliente destinados a sellar juntas y grietas de pavimentos de hormigón y concreto asfáltico. El fabricante del sellante debe indicar la aplicabilidad de esta especificación a su producto.

\*El Método 8.701.4 es una adaptación de la norma ASTM D 3405 – 78.

**2.- Requisitos Generales.** Los sellantes de juntas estarán conformados por una combinación de substancias que formen un compuesto elástico y con propiedades de adherencia, que permitan sellar efectivamente las infiltraciones de humedad y materias extrañas en las juntas y grietas en pavimentos de asfalto y hormigón, sometidas a ciclos repetidos de expansiones y contracciones. Asimismo, a temperatura ambiente no deberá fluir fuera de la junta ni ser arrancados por las ruedas de los vehículos. El producto podrá llevarse a una consistencia de vaciado adecuada para lograr un sellado uniforme, que llene completamente las juntas, sin que se formen grandes burbujas de aire o discontinuidades. Las características adecuadas para el vaciado deben permanecer relativamente inalterables por al menos 6 h, a la temperatura de vaciado recomendada (Ver Apéndice A).

### 3.- Requisitos Físicos.

**3.1 Temperatura de Seguridad de Calentamiento.** La temperatura de seguridad de calentamiento es la mayor temperatura a la cual el sellante puede ser calentado sin perder ninguna de las propiedades que se especifican más adelante. Para propósitos de ensayos, la temperatura de vaciado será la misma que la de seguridad de calentamiento. Esta deberá ser establecida por el fabricante y mostrarse en los envases e informarse al laboratorio antes de comenzar con los ensayos.

**3.2 Penetración.** La penetración a 25°C, 150 g, 5 s, no debe exceder de 90.

**3.3 Flujo.** El flujo a 60°C, no debe exceder de 3,0 mm.

**3.4 Ligazón.** El sellante se ensayará a -5°C, para tres ciclos de elongación y compresión. Considere como falla, cuando en cualquier momento durante el ensaye se produce una grieta, separación o abertura, en el propio sellante o entre éste y el bloque de mortero, que evoluciona hasta sobrepasar 6,5 mm de profundidad. La profundidad de la grieta, separación o abertura debe medirse perpendicularmente al lado del defecto que muestra el sello. Cuando se use en zonas cordilleranas o en las regiones Undécima y Duodécima se ensayará a -15°C.

El total de las tres probetas debe satisfacer estos requisitos para ligazón.

**3.5 Resiliencia.** Cuando se ensaye a 25°C, la recuperación debe ser como mínimo un 60%.

**3.6 Compatibilidad con el Asfalto.** No existirá falla en la adhesión, formación de una exudación aceitosa en la interfase sellante - pavimento asfáltico, o ablandamiento u otros efectos de deterioros en el pavimento asfáltico o sellante cuando se ensaye a 60°C.

**4.- Embalaje y Marcas.** El compuesto sellante será suministrado por el fabricante en envases originales sellados que deberán tener una marca legible con el nombre del fabricante, el nombre registrado del sellante, el número de fabricación de la partida o lote, la temperatura de vaciado y la temperatura de seguridad de calentamiento.

## 5.- Muestreo.

**5.1 Toma de Muestras.** Las muestras pueden tomarse en la planta de fabricación o depósito, antes de ser despachadas a la faena o al momento del despacho, según prefiera el comprador. Si el muestreo se efectúa antes del despacho a faena, el inspector representante del comprador deberá tener acceso libre al producto, para lo cual se le proporcionarán todas las facilidades razonables para la inspección y muestreo. El muestreo será conducido de forma de no interferir innecesariamente con la operación de trabajo.

**5.2 Forma de Tomar la Muestra.** Para el ensaye se deberán tomar no menos de 4,5 kg del producto por cada partida, lote u otra unidad de producción. Se considerará como una partida o lote, una cantidad de material terminado y fabricado simultáneamente o en forma continua, es decir, sin mediar interrupciones entre su preparación hasta el envasado final para despacho. Si el producto a ensayar se encuentra almacenado en tanques o tinas mezcladoras, un tercio de la muestra deberá ser representativa del material que sale del tanque al comienzo de la operación de llenado, una tercera parte representará lo que sale del tercio medio de la operación de llenado y el último tercio representará el material tal como sale al final de la operación de llenado.

**6.- Método de Ensaye.** Los requisitos físicos enumerados en esta especificación se determinarán de acuerdo el Método 8.702.4.

**Apéndice A.** Precauciones en el uso y aplicación de los sellantes de junta tipo aplicación en caliente, para pavimentos asfálticos y de hormigón.

**A.1** Prácticamente todos los sellantes conocidos que cumplen con lo que aquí se especifica pueden dañarse por calentamiento a altas temperaturas o por calentamiento prolongado. El equipo para calentar deberá ser resistente y del tipo marmita o fundidor de doble fondo, que disponga de un espacio adecuado entre la carcasa interior y la exterior, para llenarla con aceite u otro medio de transferencia del calor; no deberá calentarse con calor directo. Además, deberá disponer de elementos que permitan controlar la temperatura, agitar mecánicamente el producto y de una bomba para su recirculación. Para asegurarse que el producto no ha sufrido daños durante este proceso, sea por un sobrecalentamiento, o un calentamiento prolongado, periódicamente se deberán tomar muestras extraídas directamente del aplicador – fundidor; éstas se vaciarán al panel de flujo donde se ensayarán. Un flujo mayor que 3,0 mm indica que el sellante ha sido dañado durante el proceso de calentamiento.

**A.2** Para colocar los productos que se ajustan a esta especificación las juntas de pavimentos nuevos deben encontrarse secas, libres de toda incrustación, suciedad, polvo, compuesto de curado y otras materias extrañas. Las paredes de la junta a ser sellada deberán limpiarse con aire comprimido y sellarse mediante el equipo aplicador - fundidor descrito en A.1.

**A.3** Antes de utilizar un producto sellante que cumpla con esta especificación para sellar o resellar juntas como labor de mantenimiento, deberá removerse todo resto de antiguos sellos mediante escobilla de acero u otra herramienta especialmente diseñada con ese propósito y luego sopladas con aire comprimido; la junta deberá encontrarse seca y sin restos de material suelto o desprendido. El sellado deberá realizarse con el equipo aplicador – fundidor descrito en A.1.

**A.4** Siempre resulta recomendable utilizar un elemento de respaldo, como un cordón de caucho, en el fondo de la junta a ser sellada. Este permite controlar la profundidad que alcanza el producto sellante, se obtiene el factor de forma adecuado y se protege el producto contra cortes y hundimientos. Deberá constatarse que los elementos de soporte o cordones de caucho a utilizar sean compatibles con el sellante, en especial, deberá seleccionarse un elemento que soporte las elevadas temperaturas de aplicación que se utilizan para colocar los productos que aquí se especifican.

**A.5** El sellado deberá alcanzar entre 3 y 6 mm bajo la superficie del pavimento adyacente evitando cualquier sobrellenado de la junta; la labor sólo deberá ser realizada por un operador adiestrado.

## SECCIÓN 8.702 MÉTODOS PARA PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS

### 8.702.1 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: MÉTODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGÓN DE APLICACIÓN EN FRÍO\*

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe los ensayos de control que deben realizarse a productos sellantes de aplicación en frío, tipo *mastic* de uno o múltiples componentes o mezcla preparada, destinadas a sellar juntas de pavimentos de hormigón.

Los ensayos que se describen son los de penetración, flujo y ligazón.

\* El Método 8.702.1 es una adaptación de la norma ASTM D1851 – 67.

**2.- Precauciones de Seguridad.** Los sellantes de juntas del tipo mezcla preparada contienen generalmente solventes inflamables, por lo que se deberá utilizar un equipo a prueba de explosiones para calentar el producto. El calentamiento deberá realizarse dentro de una campana bien ventilada.

#### 3.- Preparación de las Probetas

**3.1 Mastic Tipo Múltiples Componentes.** Prepare la muestra por ensayar, con los ingredientes separados de acuerdo con las instrucciones que proporcione el fabricante. Los ingredientes se pueden combinar por agitación mecánica o manual, y si es necesario, calentarse, hasta una temperatura que no exceda 38°C. La preparación de las probetas no deberá tomar más de 1 h, manteniendo la mezcla durante todo el proceso a una temperatura entre 21°C y 27°C.

**3.2 Componente Tipo Mezcla Preparada de un Componente.** Prepare las probetas con el material tal como se recibe, pero calentando o enfriándolo a una temperatura entre 21°C y 27°C, a menos que se indique otra cosa.

**4.- Penetración.** Determine la penetración de acuerdo con el Método 8.702.2. Prepare las probetas por ensayar, colocando el producto como se describe en el Punto 3.1 para el tipo múltiples componentes o como se indica en el Punto 7.3, para el tipo de un componente; luego, introdúzcala en la cápsula especificada, debiendo nivelarse la cara superior. Deje la probeta en una pieza bien ventilada y a una temperatura entre 21°C y 27°C por 48 h, hasta inmediatamente antes de la inmersión en el baño para penetración en las condiciones especificadas.

**5.- Flujo.** Cualquiera sea el tipo de producto a ensayar, *mastic* tipo múltiples componentes, o de un componente tipo mezcla preparada, vierta la porción del producto, preparado como se describe en los Puntos 3.1 ó 3.2, dentro de un molde adecuado (véase la Nota 1) de 40 mm de ancho por 60 mm de largo y 3 mm de espesor, colocado sobre un panel de hojalata brillante. El panel deberá tener alrededor de 60 mm de ancho por 100 mm de largo.

Llene el molde con un exceso de sellante e inmediatamente después, corte el exceso hasta dejarlo a ras con el tope del molde. Cure por 24 h en ambiente entre 21°C y 27°C. Luego, retire el molde y coloque el panel conteniendo la muestra de ensaye en un horno a temperatura de 60°C ± 1°C y manténgala en el interior por 5 h. Para ensayar, monte el panel de manera que el eje longitudinal de la muestra forme un ángulo de 75 ± 1 grados con la horizontal y el eje transversal sea paralelo a la horizontal. Mida el cambio en longitud de la probeta durante el período de ensaye de 5 h de calentamiento, aproximando a 1 mm e informe esto como el flujo.

**Nota 1:** Cuando sea necesario, para separar del metal el producto a ser ensayado, se deberá utilizar un agente desmoldante.

**6.- Ligazón.** Este ensaye deberá realizarse en un aparato conocido como máquina de elongación, instrumento que se describe en el Método 8.702.2.

**Nota 2:** La máquina de elongación descrita es adecuada para ensayar alargamientos mayores que un 50% para 25 mm de junta simulada. Modificando las abrazaderas, se pueden ensayar juntas más angostas y pueden obtenerse elongaciones sobre 50%.

## **7.- Probetas de Ensaye.**

**7.1 Bloques de Mortero.** Se deberán preparar bloques de mortero de cemento en la forma descrita en el Método 8.702.2.

**7.2 Probetas de Ensaye para Mastic Tipo Múltiples Componentes.** Arme dos bloques de mortero preparados de acuerdo a 7.1, de manera de lograr una probeta de ensaye ajustada a la siguiente descripción.

Coloque cuatro tiras espaciadoras, preferentemente de bronce, tratadas con un agente desmoldante y de aproximadamente 6 mm de espesor, sobre una placa base de metal también tratada con desmoldante, de manera de crear un espacio abierto de 25 mm de ancho por 50 mm de largo.

Ponga los bloques de mortero sobre las tiras espaciadoras y sepárelos 25 mm por medio de bloques de metal, tratados con desmoldante, de 12,5 mm de espesor, puestos a una distancia tal de sus extremos que se forme una abertura de 25 x 50 x 50 mm entre los bloques, con una abertura bajo los bloques de 6 mm. Se pueden usar fajas de goma, abrazaderas o un medio similar adecuado para sostener los bloques en posición.

Coloque sobre los bloques tiras espaciadoras de 6 mm de espesor. Vierta el producto, preparado de acuerdo con 3.1, en el espacio entre los bloques, en cantidad suficiente para alcanzar a lo menos un nivel con el tope de las tiras espaciadoras.

Deje que la muestra permanezca a una temperatura entre 21 y 27°C por 48 h y remueva el exceso de material que sobresale más allá del tope y fondo de los bloques, cortándolo con un cuchillo o espátula caliente.

**7.3 Probetas a Ensayar para un Componente Tipo Mezcla Preparada.** Prepare la probeta con el producto a ensayar del que previamente se le ha evaporado el solvente. Pese aproximadamente 600 g del material original dentro de una cápsula metálica de 115 mm de diámetro por aproximadamente 150 mm de altura, con 3 mm de espesor de pared. Ponga la cápsula a curar a la temperatura y según el método que señale el fabricante. Agite el sello de junta continuamente a una velocidad de  $120 \pm 10$  rpm con un equipo de agitación que tenga un área efectiva de al menos 14,5 cm<sup>2</sup>.

Cuando el sellante alcance la temperatura indicada por el fabricante, remueva la cápsula desde el sitio de curado y coloque una porción del material en los moldes de ensaye con una paleta u otro medio adecuado. Se pueden untar con vaselina u otro desmoldante similar, las caras de los bloques metálicos separadores. Tenga cuidado mientras remueva el material de la cápsula, en el cual la evaporación del solvente se produjo, para evitar la inclusión de la capa delgada de material en contacto con el interior de la pared de la cápsula, la cual puede haber sido sobrecalentada.

## **8.- Procedimiento.**

**8.1 Elongación.** Salvo que se especifique otra cosa, el ensaye de elongación debe realizarse a -5°C y a -15°C, cuando el producto se use en zonas cordilleranas o en las Regiones XI y XII.

Coloque tres probetas de ensaye, preparadas como se describe en 7.2 ó 7.3, en una atmósfera mantenida a la temperatura de ensaye especificada, por no menos de 4 h. Después, remueva los bloques metálicos espaciadores e inmediatamente monte las probetas en las mordazas autoalineantes de la máquina de elongación descrita en 6. Alargue la probeta 12,5 mm (50% para un espesor de ensaye de 25

mm) a una velocidad uniforme de 3 mm/h dentro de los límites descritos en 6. Durante este período mantenga la atmósfera alrededor de la probeta a la temperatura de ensaye especificada.

**Nota 3:** La elongación especificada en 6 es para un 50% de extensión del espesor de 25 mm. Para otros requisitos de ensaye la longitud de la elongación puede ser modificada para producir el porcentaje de elongación consistente con el ancho de la junta. Por ejemplo, para un requisito de 100% de elongación para el espesor de ensaye de 12,5 mm, la elongación será 12,5 mm; para un 75% de elongación de tal espesor, será de 10 mm.

**8.2 Examen de las Probetas.** Después del ensaye de elongación descrito en 8.1, remueva las probetas de la máquina de elongación y examínelas. Registre el ancho y profundidad de cualquier grieta, separación o abertura en el sellante, o entre el sellante y los bloques de mortero.

**Nota 4:** La profundidad de separación que se clasifica como falla se encuentra definida por las especificaciones correspondientes al material que se ensaya. Generalmente, se dice que el material ha fallado cuando en el ensaye una separación o abertura excede de 6,5 mm, medida perpendicularmente desde el lado del sellante que muestra el defecto.

**8.3 Compresión.** Después de examinar las probetas, coloque los bloques espaciadores metálicos entre los bloques de mortero, así como la probeta, para que permanezca sobre un bloque superior de mortero tal que el peso del bloque superior comprima el sellante. Si después de transcurridas 2 h, a la temperatura de la sala, la probeta no se ha comprimido a su espesor original, colóquela en la máquina de ensaye y comprima a una velocidad aproximada de 3 mm/min.

**8.4 Repetición de Ciclos.** Salvo que se especifique otra cosa, considere cinco ciclos de elongación, examen y compresión, como un ensaye de ligazón completo. Entre ciclos repetitivos, el producto puede ser almacenado a la temperatura de la sala o a la temperatura de ensaye especificada. En todo caso, cuando se almacene a la temperatura de la sala, las probetas deben estar expuestas a la temperatura de ensaye especificada por lo menos 4 h antes de repetir la elongación en la forma como se indica en 8.1. El lapso máximo entre el momento en que las probetas se encuentren preparadas para ser ensayadas y el término efectivo del mismo, no deberá ser superior a 10 días.

**Nota 5:** Cuando se especifican anchos de juntas menores a 25 mm, el ancho de los espaciadores de metal tratado será el de la junta especificada (18 mm, 10 mm).



## 8.702.2 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE HORMIGON TIPO ELASTICO APLICADOS EN CALIENTE\*

**1.- Alcance y Campo de Aplicación.** Este método describe los ensayos de control que deben realizarse a productos sellantes tipo elástico, aplicados en caliente, para juntas de hormigón.

Los ensayos que se describen son: el punto de derrame, la temperatura de seguridad de calentamiento, la penetración de cono, el flujo y la ligazón a baja temperatura.

\* El Método 8.702.2 es una adaptación de la norma ASTM D 1191 – 76.

### 2.- Punto de Derrame.

**2.1 Procedimiento.** Seleccione una muestra del producto que pese, aproximadamente 600 g, extrayéndola de manera de evitar que se incorpore la capa superficial.

Caliente 200 g de la muestra en una cápsula limpia, mediante un baño de aceite o en una unidad de calor similar, agitando suavemente hasta consistencia de derrame. La temperatura del baño no debe exceder la temperatura de seguridad de calentamiento (ver 3), en más de 24°C y en ningún caso sobrepasar 288°C.

Agregue al producto derretido, los 400 g remanentes, en parcialidades de aproximadamente 50 g a la vez, continuando con la agitación suave. Continúe calentando y agitando hasta que toda la muestra esté suficientemente fluida para que pueda ser fácilmente vaciada.

Este producto es el que deberá emplearse para efectuar todos los ensayos requeridos, para lo que se deberá vaciar en los moldes correspondientes.

**2.2 Informe.** Informe como punto de derrame, la mínima temperatura a la cual el material derrama fácil y uniformemente cuando se somete al procedimiento descrito en 2.1, y anote el tiempo requerido para alcanzar dicha consistencia. Se debe verificar que la viscosidad del flujo, bajo condiciones moderadas de calor o presión, esté dentro del campo de las características deseadas.

**3.- Temperatura de Seguridad del Calentamiento.** Se define como temperatura de seguridad de calentamiento, la mayor temperatura a la cual un producto sellante de juntas puede ser calentado sin perder sus propiedades de flujo.

Para determinar esta temperatura, proceda con un calentamiento adicional del producto sobrante de la preparación de las probetas para ensayos de flujo, penetración y ligazón. Aumente la temperatura del baño si es necesario y prepare probetas adicionales para ensaye de flujo. Prepare tres o más probetas adicionales para el ensaye de flujo del producto, aumentado la temperatura del material a intervalos de 10°C. La primera serie de estas probetas debe pasar el ensaye de flujo.

**4.- Penetración.** Este ensaye se debe realizar de acuerdo con lo que se señala en el Método 8.302.3, excepto que se debe usar el cono de penetración en lugar de la aguja de penetración normal. El cono debe cumplir con los requisitos dados en ASTM D 217, excepto que la construcción interior puede ser modificada como se desee; la masa total del cono y de los accesorios móviles, será  $150 \pm 0,1$  g.

**5.- Flujo.** Vacíe una porción de la muestra, preparada de acuerdo a lo descrito en 2, dentro de un molde adecuado (ver **Nota 1**) de 40 mm de ancho por 60 mm de largo y 3 mm de profundidad, colocado sobre un panel de latón brillante.

Llene el molde con el producto en exceso; deje enfriar a la temperatura de la sala por a lo menos unos 30 min; luego, nivele la superficie de la muestra con la cara del molde cortando con cuchillo o espátula metálica caliente.

Retire el molde y coloque el panel que contiene la probeta, en un horno manteniendo una temperatura de  $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 5 h. Para el ensaye, el panel deberá montarse de manera que el eje longitudinal de la probeta forme un ángulo de  $75 \pm 1$  grados con la horizontal y el eje transversal este en forma horizontal.

Mida el cambio en la longitud de la probeta en milímetros, durante el período de ensaye de 5 h e infórmelo como el flujo.

## 6.- Ligazón.

**6.1 Máquina de Elongación.** La máquina de elongación usada en el ensaye de ligazón es un equipo diseñado para que la probeta pueda ser alargada 12,5 mm, a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/hora. Consiste esencialmente en uno o más tornillos que giran por medio de un sistema de engranajes adecuado, accionados por un motor eléctrico. También incluye platos o mordazas auto alineantes, una fija y la otra movida por el o los tornillos que giran, cuyo objetivo es mantener la probeta en la posición correcta durante el ensaye. La máquina que se muestra en la Lámina 8.702.2.A es adecuada para ensayar tres probetas simultáneamente.

**6.2 Bloques de Mortero.** Prepare bloques de mortero de cemento de dimensiones 25 x 50 x 75 mm, usando una parte de cemento de alta resistencia, conforme a NCh 148 y dos partes en peso de árido fino, graduado uniformemente, limpio y conforme al Método 8.201.1 Tabla 8.201.1.B. Use suficiente agua para producir un flujo de  $100 \pm 5$  mm cuando se ensaya según el Método 8.402.3.

Después de 14 días de curado en cámara húmeda a  $20^{\circ} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ , humedezca la superficie de una de las caras de cada bloque de 20 x 50 x 75 mm, puliéndola con una piedra de Carburo de Silicio u otro medio similar, hasta que el árido descubierto se presente uniforme.

Almacene los bloques en agua hasta inmediatamente antes de utilizarlos; luego séquelos en horno hasta masa constante a temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Enfríe a temperatura ambiente en un desecador y limpie la superficie de los bloques escobillando fuerte con un cepillo de fibras duras de cerda para retirar el polvo. Guarde los bloques preparados en el desecador hasta que estén listos para la operación de vaciado del sello ( ver 6.3).

**6.3 Probetas.** Moldee la probeta a ensayar entre dos bloques de mortero como sigue:

Coloque cuatro tiras espaciadoras preferentemente de bronce, previamente tratadas con un agente desmoldante (ver **Nota 1**), de aproximadamente 6 mm de espesor, sobre una placa base de metal también tratada con desmoldante, de manera de crear un espacio abierto de 25 mm de ancho por 50 mm de largo.

Ponga los bloques de mortero sobre las tiras espaciadoras y sepárelos a 25 mm por medio de los bloques de metal, tratados con desmoldante, de 12,5 mm de espesor, puestos a una distancia tal de sus extremos que formen una abertura de 25 x 50 x 50 mm entre los bloques, con una abertura bajo éstos de 6 mm. Se pueden usar fajas de goma, abrazaderas o un medio similar adecuado para sostener los bloques en posición.

Coloque sobre los bloques tiras espaciadoras de 6 mm de espesor. Vierta el producto, preparado de acuerdo con 2, en el espacio entre los bloques, en cantidad suficiente para alcanzar a lo menos un nivel con el tope de las tiras espaciadoras.

Deje la probeta enfriar por al menos 2 h, remueva el exceso de material que sobresale del tope y fondo de los bloques, cortándolo con un cuchillo o espátula caliente. Si la muestra se contrae durante el enfriamiento, reduciendo su nivel bajo el de los topes de los bloques de mortero o se presenta otro defecto de vaciado, la probeta debe descartarse.

**6.4 Elongación a Baja Temperatura.** Coloque tres probetas preparadas como se describió anteriormente, en una atmósfera constante a la temperatura de ensaye especificada  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ , por no menos de 4 h. Luego, retire los bloques espaciadores metálicos y monte las muestras inmediatamente en las abrazaderas autoalineantes de la máquina de elongación.

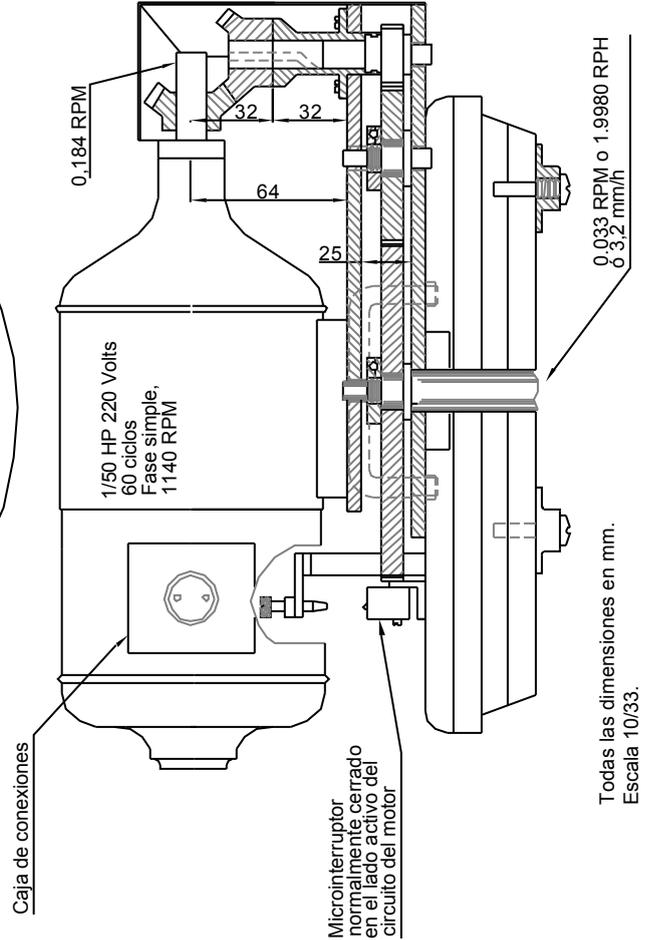
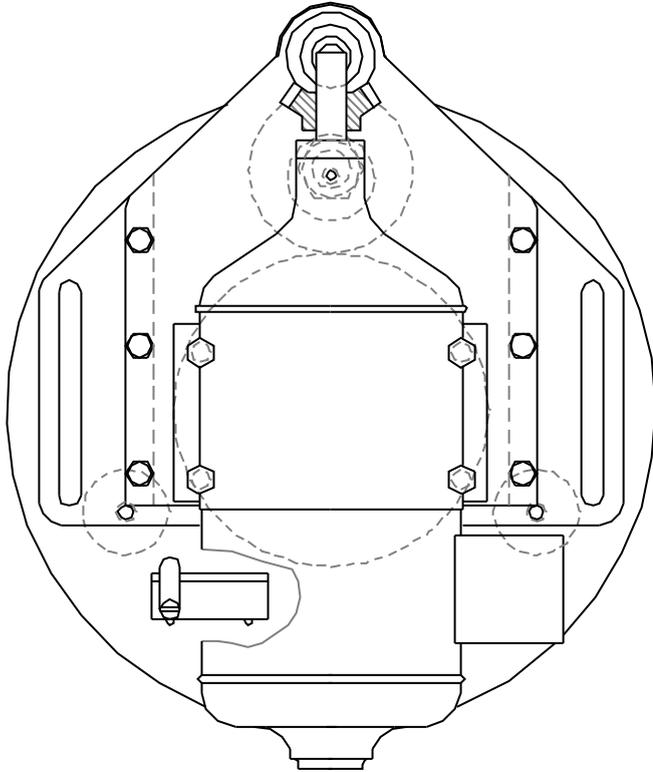
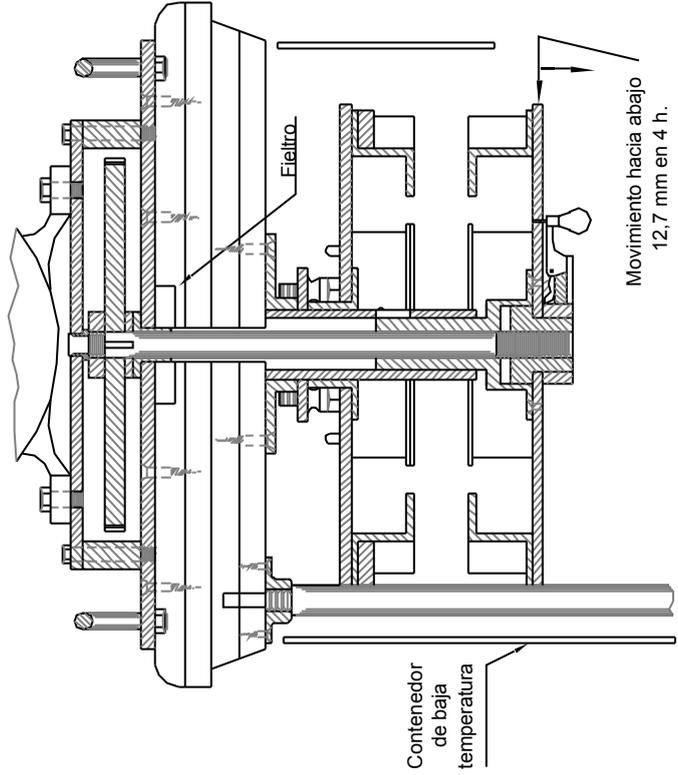
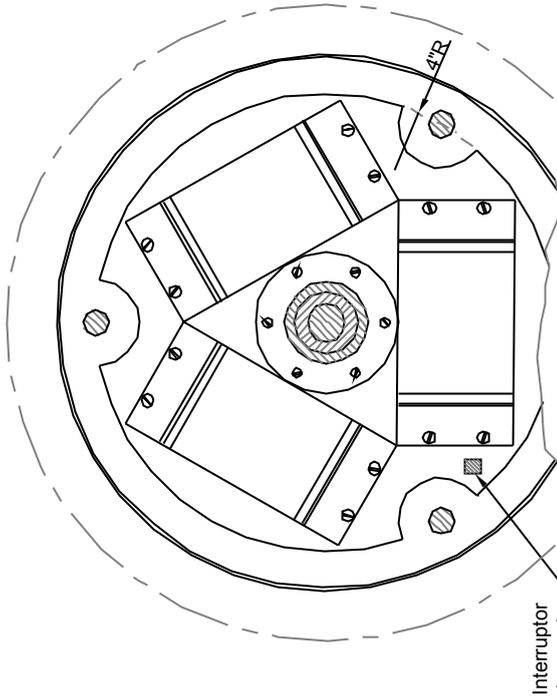
Alargue las probetas hasta 12,5 mm, a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h. Durante este período, mantenga la atmósfera alrededor de la probeta de ensaye a la temperatura especificada,  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ .

**6.5 Compresión.** Una vez terminado el procedimiento descrito en 6.4, retire las probetas de la máquina de elongación y almacénelas a la temperatura de la sala por 2 h.

Coloque los espaciadores metálicos entre los bloques de mortero así como las probetas de manera que el peso del bloque superior comprima el sellante. Si después de transcurridas 2 h, a la temperatura de la sala, la probeta no se ha comprimido a su espesor original, colóquela en la máquina de ensaye y comprima a una velocidad aproximada de 3,0 mm/min.

**6.6 Número de Ciclos.** El ensaye completo para determinar la ligazón de un producto consta de cinco ciclos de elongación, seguidos por otros tantos de compresión.

**Nota 1:** Cuando resulte necesario, se utilizará un agente demoldante para impedir la adherencia entre el producto a ensayar y el metal. El agente desmoldante que se recomienda, por ser no tóxico y lavable con agua, se prepara moliendo, hasta formar una pasta suave, una mezcla de aproximadamente 50% de talco, 25% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.



Todas las dimensiones en mm.  
Escala 10/33.

### **8.702.3 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES TIPO ELASTOMERICO DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe los ensayos de control que deben realizarse a productos sellantes de juntas del tipo elastomérico aplicados en caliente, para pavimentos de hormigón.

Los ensayos que se describen son: penetración de cono, flujo, ligazón a bajas temperaturas, resiliencia, condiciones climáticas artificiales, adhesión a la tracción y calentamiento prolongado.

\*El Método 8.702.3 es una adaptación de la norma ASTM D 3408 –78.

**2.- Preparación de la Muestra.** Separe para el ensaye una porción que pese aproximadamente 1.200 g.

Cuando el producto a ensayar es sólido, dividida la muestra de ensaye en 48 segmentos de  $25 \pm 2$  g cada uno. Agregue 24 segmentos en cada una de las ollas de la marmita fundente a una velocidad de 1 segmento por minuto. Detenga la agitación en la marmita fundente por un intervalo no superior a 10 s al introducir cada segmento. Salvo por esas detenciones, la agitación y el trabajo de las muestras deberá ser continuo durante el período de calentamiento.

Si el producto a ensayar es líquido, la muestra completa puede agregarse de una sola vez al fundidor.

Si durante el vaciado de las muestras se detecta alguna desuniformidad visible o separación, considere que el producto es inestable y rechácelo.

La temperatura del baño de aceite durante el periodo en que se están agregando los 48 segmentos a la marmita fundidora, no deberá exceder la temperatura de seguridad de calentamiento recomendada por el fabricante. Una vez que se ha introducido el último segmento, aumente la temperatura del baño de aceite para llevar la muestra a la temperatura de seguridad de calentamiento; este proceso no debe demorar más de 1 h desde que se introdujo el primer segmento. En ningún caso, no obstante, la temperatura del baño de aceite podrá ser mayor de  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de seguridad de calentamiento.

Mantenga calentando la muestra a la temperatura de seguridad de calentamiento, por un lapso de 6 h, contadas desde que el último segmento fue agregado al fundidor. Transcurrido ese tiempo, vierta el producto a todos los moldes de ensaye que se requieran, dentro de un período de 10 min. Descarte los primeros 50 a 60 g del material, descargado de la marmita fundidora.

Las unidades de laboratorio para fundir muestras serán preferentemente del tipo doble olla, se pueden emplear marmitas fundidoras simples, duplicando exactamente el proceso. Las unidades emplearán un aceite de alto punto de inflamación, como medio de transferencia de calor y serán diseñadas y construidas para que el aceite rodee completamente los lados interiores o cámaras del fundidor.

El calentamiento debe controlarse termostáticamente, de manera de mantener la temperatura del aceite dentro de un rango de  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la requerida para mantener la muestra a la temperatura de vaciado recomendada por el fabricante. Las unidades fundidoras deberán estar equipadas con una descarga de fondo controlada por una válvula de hoja o cuchillo para permitir vaciar el material fundido. También deben proveerse termómetros para lecturas continuas, tanto de la muestra que está siendo fundida como del aceite que transfiere calor.

**3.- Condiciones Normales.** Las condiciones atmosféricas de laboratorio, más adelante mencionadas como condiciones normales, son: temperatura de  $24 \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa del  $50 \pm 10\%$ . Las muestras preparadas como se describe más adelante, deben almacenarse bajo condiciones normales por 24 a 48 h, antes de ensayar, a menos que se especifique otra cosa.

**4.- Penetración.** Realice este ensaye de acuerdo con el Método 8.302.3, excepto que debe usar un cono de penetración, en lugar de la aguja de penetración normal. El cono deberá ajustarse a los requisitos estipulados en la norma ASTM D 217, salvo que la parte interior puede ser modificada como se desee. El peso total del cono móvil y dispositivos será de  $150 \pm 0,1$  g.

## 5.- Flujo.

**5.1 Probeta de Ensaye.** Vacíe una porción de la muestra, preparada de acuerdo con 2, en un molde adecuado (ver Nota 1) de 40 mm de ancho por 60 mm de largo por 3 mm de profundidad, colocada en un panel de hojalata brillante; llene el molde con el producto en exceso. Deje que la muestra de ensaye se enfríe a temperatura ambiente por al menos media hora; luego corte con un cuchillo o espátula caliente para nivelar la probeta con la cara del molde. Se deben preparar dos probetas, una de las cuales debe reservarse para el ensaye de condiciones climáticas artificiales.

**Nota 1:** Cuando resulte necesario, se utilizará un agente demoldante para impedir la adherencia entre el producto a ensayar y el metal. El agente desmoldante que se recomienda, por ser no tóxico y lavable con agua, se prepara moliendo, hasta formar una pasta suave, una mezcla de aproximadamente 50% de talco, 35% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.

**5.2 Procedimiento.** Saque el molde y coloque el panel que contiene la muestra en un horno de aire de tiro forzado mantenido a una temperatura de  $70 \pm 1^\circ$  C por 72 h. Durante el ensaye, monte el panel de manera que el eje longitudinal de la muestra forme un ángulo de  $75 \pm 1$  grados con la horizontal y el eje transversal este horizontal. Mida el cambio en longitud de la muestra, en milímetros durante el período de 72 h e infórmelo como el flujo.

## 6.- Ligazón.

**6.1 Máquina de Elongación.** La máquina de elongación usada en el ensaye de ligazón es un equipo diseñado para que la probeta pueda ser alargada 12,5 mm, a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h.

Consiste esencialmente en uno o más tornillos que giran por medio de un sistema de engranajes adecuado, accionados por un motor eléctrico. También incluye platos o mordazas auto alineantes, una fija y la otra movida por el o los tornillos que giran, cuyo objetivo es mantener la probeta en la posición correcta durante el ensaye. La máquina que se muestra en la Lámina 8.702.3.A es adecuada para ensayar tres probetas simultáneamente.

**6.2 Bloques de Mortero.** Prepare bloques de mortero de cemento de dimensiones 25 x 50 x 75 mm, usando una parte de cemento de alta resistencia, conforme a NCh 148 y dos partes en peso de árido fino, graduado uniformemente, limpio y conforme al Método 8.201.1, Tabla 8.201.1.B. Use suficiente agua para producir un flujo de  $100 \pm 5$  mm cuando se ensaya según el Método 8.402.3.

Después de 14 días de curado en cámara húmeda a  $20 \pm 3^\circ$ C, retire los bloques de la cámara de curado 16 a 24 h antes de usar y refriegue las caras de 50 x 75 mm bajo agua para limpiar y lavar. Deje drenar y secar la superficie con las caras terminadas de 25 x 50 mm hacia abajo, en un área libre de contaminación en el laboratorio y bajo condiciones atmosféricas. No debe existir humedad libre al momento de preparar las muestras para el ensaye de ligazón.; si es necesario, pueden secarse con papel o tela suave absorbente, libre de aceite.

**6.3 Probetas de Ensaye.** Moldee las probetas de ensaye entre dos bloques de hormigón, ajustándose a la siguiente descripción:

Coloque cuatro tiras espaciadoras de bronce tratadas con desmoldante, de aproximadamente 6 mm de espesor, sobre una base metálica tratada con desmoldante de manera de formar un espacio abierto de 25 mm de ancho y 50 mm de largo.

El control completo requiere de seis probetas de ensaye, tres para este ensaye y tres para tensión - adhesión.

Coloque los bloques sobre las tiras espaciadoras y sepárelas de tal manera que formen una abertura de 25 x 50 x 50 mm entre los bloques, con una abertura de 6 mm debajo de éstos. Se pueden usar fajas de goma, abrazaderas o un medio similar adecuado para sostener los bloques en posición.

Coloque tiras espaciadoras de bronce, tratadas con desmoldante, en la superficie superior de los bloques. Vierta el material, preparado de acuerdo con 3, en el espacio entre los bloques, en cantidad suficiente para nivelar hasta el tope de las tiras espaciadoras. Después de enfriar la probeta por al menos 2 h, remueva el exceso de material que sobresale fuera del tope y fondo de los bloques, cortando con un cuchillo o espátula metálica caliente.

Si el producto ensayado se contrae durante el enfriamiento, reduciendo su nivel por debajo de los topes de bloques de mortero o si se manifiesta otro defecto de vaciado, la probeta debe ser descartada.

**6.4 Elongación a Baja Temperatura.** Coloque tres probetas de ensaye, preparadas como se describió anteriormente, en una atmósfera constante a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de  $\pm 1^\circ\text{C}$  por no menos de 4 h, luego retire los bloques espaciadores metálicos y monte las probetas inmediatamente en las abrazaderas alineadoras de la máquina de elongación. Alargue las probetas hasta 12,5 mm, a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h; durante este período, mantenga el ambiente a la temperatura especificada con una tolerancia de  $\pm 1,0^\circ\text{C}$ .

**6.5 Compresión.** Terminado el ensaye de elongación descrito en 6.4 retire las probetas de la máquina de elongación y almacénelas, a la temperatura de la sala, por 2 h. Reubique los espaciadores metálicos de 25 mm entre los bloques de mortero y deje cada probeta sobre uno de los bloques de mortero para que el peso del bloque superior comprima el sellante.

**6.6 Número de Ciclos.** El ensaye de liga completo está conformado por tres ciclos de elongación, seguidos de igual número de ciclos de compresión.

## 7.- Resiliencia.

**7.1 Probetas de Ensaye.** Deben prepararse dos probetas usando cápsulas de  $177,5\text{ cm}^3$  en la forma descrita en 4, excepto que deben acondicionarse por 72 h, bajo condiciones normales antes de ensayar. Una de las probetas debe envejecerse en horno, acondicionándola adicionalmente en un horno de convección de aire de tiro forzado a  $70 \pm 1^\circ\text{C}$  por  $24 \pm 2$  h, seguido por un acondicionamiento en aire por 1 h y luego por otra hora en un baño de agua a temperatura de  $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

**7.2 Procedimiento.** Ensaye la probeta no envejecida (acondicionada por 1 h en un baño de agua a  $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ ) y la probeta envejecida en horno, con un penetrómetro normal pero cuya aguja se debe sustituir por una herramienta de penetración de bola, como la que se muestra en Lámina 8.702.3.B. La superficie de la probeta puede ser ligeramente espolvoreada con talco, removiendo el exceso soplando inmediatamente o la bola del penetrómetro puede ser cubierta ligeramente con glicerina.

Para el ensaye proceda como sigue: coloque la bola del penetrómetro en contacto con la superficie de la probeta y ponga el indicador del dial en cero; ilumine el área de manera que el contacto inicial entre la bola y la superficie de la probeta, pueda ser observado fácilmente.

Suelte la herramienta de penetración de bola, permitiendo que penetre la muestra por 5 s; anote la lectura como penetración de bola, P, en cm, aproximando a la centésima.

Sin retornar el puntero del dial a cero, presione la herramienta de penetración de bola hacia abajo adicionándole 100, esto es, para leer  $P + 100$ , a una velocidad uniforme en 10 s. Reajuste la espoleta para afirmar la herramienta abajo por 5 s adicionales; durante este lapso, regrese el dial a cero. Suelte la espoleta, deje la muestra recuperarse por 20 s, y anote la lectura final leída, F.

Efectúe determinaciones en tres puntos igualmente espaciados uno de otros y a no menos de 13 mm desde el borde del contenedor. Calcule la recuperación (una medida de la resiliencia) como sigue:

$$\text{Recuperación (\%)} = P + 100 - F$$

Anote el promedio de tres determinaciones como la resiliencia.

## 8.- Condiciones Climáticas Artificiales

**8.1 Aparatos.** Los aparatos expositores de luz y agua (tipo arco carbón) usados para el ensaye de condiciones climáticas artificiales conformarán el Tipo D descrito en Prácticas Recomendadas ASTM G23.

**8.2 Probetas de Ensaye.** Prepare cuatro paneles: uno para ser usado como panel control no envejecido, otro se envejecerá en horno, y los otros dos se ensayarán en el equipo descrito en el Punto 8.1.

Prepare tres probetas en paneles de hojalata brillante de 75 x 150 x 5 mm conforme las Especificaciones C 220, Tipo V. Las dimensiones de las probetas serán 40 x 100 x 6,5 mm, preparadas de la misma manera como se hace para el ensaye de flujo. Prepare una de las probetas en un panel de hojalata brillante, como se describe en el Punto 5.1.

**8.3 Procedimiento.** Ensaye dos probetas en platos de hojalata brillante, de acuerdo con las Prácticas Recomendadas G23, excepto que la temperatura del panel negro será de  $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , el agua no contendrá más de 20 ppm en total de sólidos y la muestra del panel no será invertida al final de cada día del ciclo de ensaye. El ciclo de ensaye diario será como se indica en la Tabla 8.702.3.A.

**TABLA 8.702.3.A  
CICLO DE ENSAYE DIARIO**

Condición de Ensaye	Exposición (min)
Solamente luz	51
Luz con rociado de agua	9
Total por día	20 períodos de 60 min

Cada ensaye completo consistirá de 160 h de exposición en el equipo de condiciones climáticas artificiales descritas en el Punto 8.1.

Envejezca la muestra en el horno sobre el panel de hojalata brillante, como se describe en el Punto 5.2 con la probeta de flujo. Después de retirarla del horno, manténgala bajo condiciones normales por 24 h.

Doble el plato metálico lentamente con la muestra intacta, sobre un mandril de 6,5 mm de diámetro, de manera de generar una curvatura de  $90^{\circ}$  en el plato, con un radio máximo de 3,2 mm. Genere la curvatura de manera que se produzca aproximadamente en el punto medio de la muestra de 100 mm de dimensión.

**8.4 Interpretación de los Resultados.** Examine, de modo superficial y cada 20 h de exposición, las probetas del ensaye de condiciones climáticas artificiales y tome nota si observa algún cambio (las muestras aproximadamente a la temperatura de exposición en la cámara de ensaye). Examine las probetas de ensaye del panel de manera completa al finalizar las 160 h de exposición y mientras aún estén aproximadamente a la temperatura de la cámara, para detectar alguna de las siguientes condiciones:

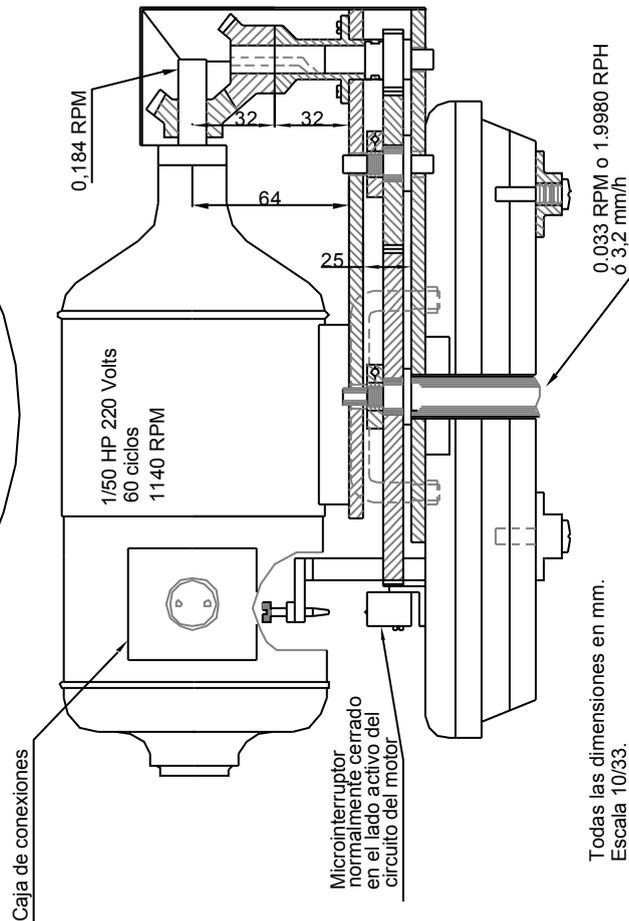
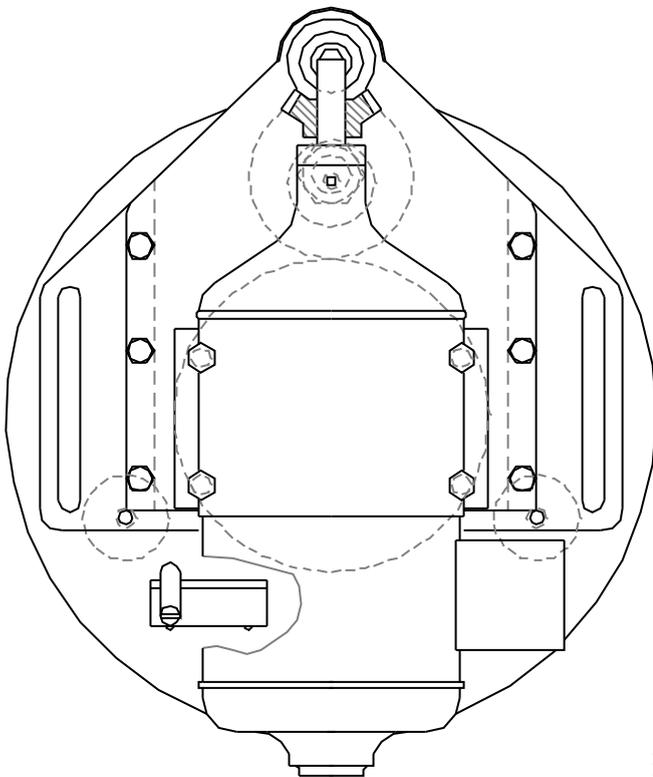
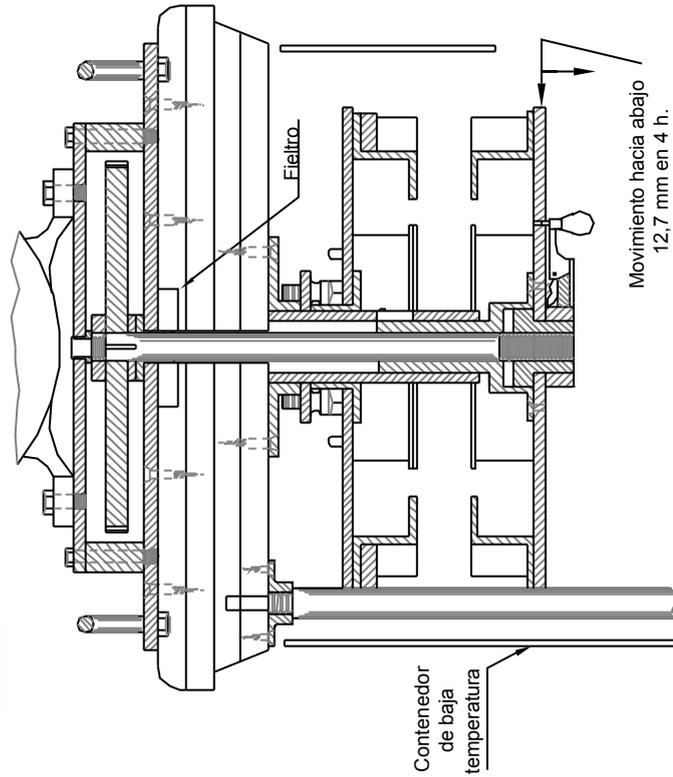
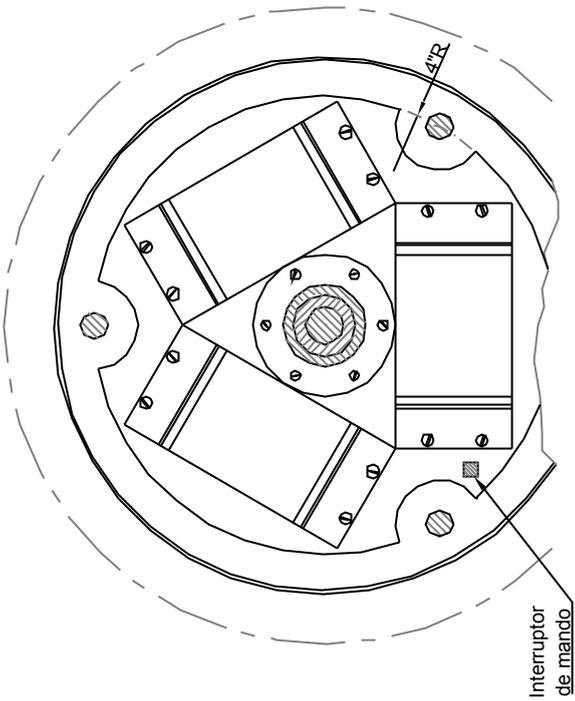
- Flujo.
- Cualquier ampolla, esto es, formación de burbujas internas o superficiales o deformaciones, intactas o rotas, pegajosas, presencia de película de aceite o regresión a una sustancia bituminosa, superficie cuarteada o agrietada, ganancia o pérdida de resistencia, propiedades de goma.
- Cuarteo o agrietamiento (probeta envejecida en horno solamente).

## 9.- Ensaye de Tensión Adhesión.

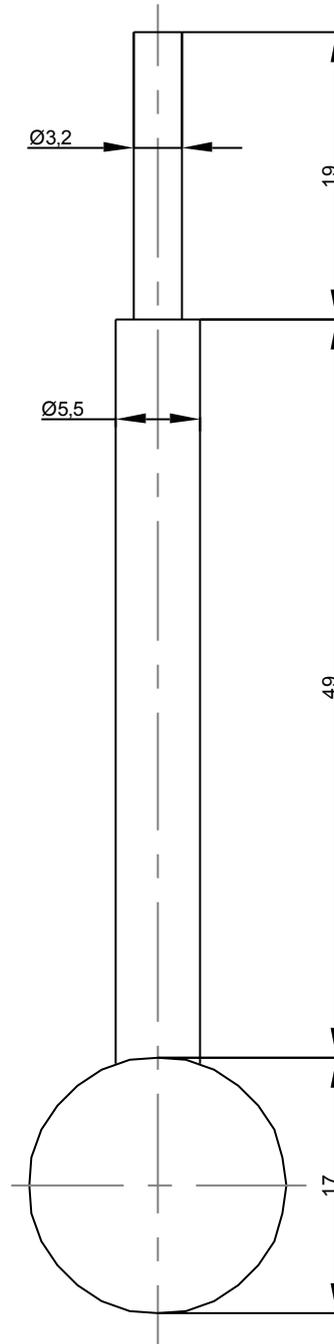
**9.1 Aparatos.** Un equipo que permita afianzar los bloques de mortero y para luego ir separándolos, a una velocidad de 12,5 mm/min y por una longitud entre 0 mm y 205 mm, como mínimo.

**9.2 Probetas de Ensaye.** Prepare, en la forma como se indica en 6.3, tres bloques de hormigón. Después de verter las probetas, cúrelas por 7 días bajo condiciones atmosféricas de laboratorio normales, como se establece en 3.1.

**9.3 Procedimiento.** Coloque las probetas en un equipo de ensaye adecuado y tire, apartándolas en condiciones atmosféricas de laboratorio normales a una velocidad de 12,5 mm/min. Continúe la extensión hasta que el sellante alcance el punto de quiebre o el aparato de ensaye alcance su extensión máxima. Anote y promedie las elongaciones de cada una de las tres probetas ensayadas, expresadas en porcentaje.



- Material: Acero
- Peso de la bola:  $27,5 \pm 0,1$  g
- Peso total de la bola y columna del penetrómetro:  $75 \pm 0,01$  g



Todas las dimensiones en milímetros.



#### **8.702.4 PRODUCTOS PARA JUNTAS Y GRIETAS: METODO DE ENSAYE PARA SELLANTES DE JUNTAS DE APLICACION EN CALIENTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGON Y ASFALTO\***

**1.- Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe los ensayos de control que deben realizarse para sellos de juntas tipo bituminoso aplicados en caliente para pavimentos asfálticos y de hormigón.

Los ensayos que se describen son los de penetración de cono, flujo, ligazón a bajas temperaturas, resiliencia, compatibilidad con asfalto y calentamiento prolongado.

\* El Método 8.702.4 es una adaptación de la norma ASTM D 3407 – 78.

**2.- Preparación de la Muestra.** Separe para el ensayo una porción que pese aproximadamente 600 g evitando que incluya la capa superficial o restos del envoltorio.

Caliente 200 g de la muestra en un fundidor con camisas de aceite, limpio, equipado con un mecanismo de agitación para la consistencia de vaciado. La temperatura del aceite no debe exceder la temperatura de seguridad de calentamiento por más de 42°C y en ningún caso, debe superar los 288°C. Agregue los 400 g remanentes en cantidades de aproximadamente 50 g a la vez, para fundir el material, con agitación continua. Continúe el calentamiento y agitación hasta que la muestra completa esté a la máxima temperatura de seguridad de calentamiento.

**3.- Condiciones Normales.** Las condiciones ambientales de laboratorio, definidas como condiciones normales, corresponden a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  y a una humedad relativa de  $50 \pm 10\%$ .

Las muestras que se preparen como se prescribe más adelante deberán almacenarse bajo condiciones normales hasta que se necesite para ensayar.

**4.- Penetración.** Efectúe este ensayo de acuerdo con el Método 8.302.3, excepto que se debe usar un cono de penetración en lugar de la aguja de penetración normal. El cono deberá ajustarse a los requisitos estipulados en el Método D 217, excepto que la construcción del interior puede ser modificada como se desea. El peso total móvil del cono y dispositivos será de  $150 \pm 0,1$  g.

#### **5.- Flujo.**

**5.1 Muestra para Ensayar.** Vierta una porción de la muestra preparada de acuerdo con 3 en un molde adecuado (ver Nota 1) de 40 mm de ancho por 60 mm de largo por 3 mm de profundidad, colocada en un panel de hojalata brillante. Llene el molde con exceso de material y deje que la muestra se enfríe a la temperatura de la sala por al menos 30 min; luego corte la muestra nivelando con la cara del molde con un cuchillo o espátula metálica caliente.

**Nota 1:** Usar desmoldante cuando sea necesario para impedir la adherencia entre el producto a ensayar con el metal. Se recomienda como agente desmoldante una sustancia no tóxica, lavable con agua que se prepara moliendo hasta formar una pasta suave, una mezcla de aproximadamente 50% de talco, 35% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.

**5.2 Procedimiento.** Saque el molde y coloque el panel que contiene la probeta, en un horno de convección de aire forzado mantenido a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  por 5 h. Para el ensayo, monte el panel de manera que el eje longitudinal de la probeta forme un ángulo de  $75 \pm 1$  grados con la horizontal y el eje transversal esté en forma horizontal. Mida el cambio de longitud de la probeta en mm durante el período de ensayo de 5 h e infórmelo en forma de flujo.

## 6.- Ligazón.

**6.1 Máquina de Elongación.** La máquina de elongación para el ensaye de ligazón debe permitir que la muestra pueda ser alargada 12,5 mm, a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h.

Consiste esencialmente en uno o más tornillos que giran por medio de un sistema de engranajes adecuado, accionados por un motor eléctrico. También incluye platos o mordazas auto alineantes, una fija y la otra movida por el o los tornillos que giran, cuyo objetivo es mantener la probeta en la posición correcta durante el ensaye. La máquina que se muestra en la Lámina 8.702.4.A es adecuada para ensayar tres probetas simultáneamente.

**6.2 Preparación de los Bloques de Mortero.** Prepare bloques de mortero de cemento de dimensiones 25 x 50 x 75 mm, usando una parte de cemento de alta resistencia conforme a NCh 148 y dos partes en peso de árido fino, graduado uniformemente, limpio y conforme al Método 8.201.1 Tabla 8.201.1.B. Use suficiente agua para producir un flujo de  $100 \pm 5$  mm cuando se ensaya según el punto 5.2 del Método 8.402.3.

Después de 14 días de curado en cámara húmeda a  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , retire los bloques de la cámara de curado 16 a 24 h antes de usar y refríe las caras de 50 x 75 mm bajo agua para limpiar y lavar. Deje drenar y secar la superficie con las caras terminadas de 25 x 50 mm hacia abajo, en un área libre de contaminación en el laboratorio y bajo condiciones atmosféricas. No debe existir humedad libre al momento de preparar las muestras para el ensaye de liga; si es necesario, pueden secarse con papel o tela suave absorbente, libre de aceite.

**6.3 Probetas de Ensaye.** Prepare tres probetas de ensaye y moldéelas entre dos bloques de hormigón, ajustándose a lo que sigue.

Coloque cuatro tiras espaciadoras de bronce tratadas con desmoldante, de aproximadamente 6 mm de espesor, sobre una base metálica tratada con desmoldante de manera de formar un espacio abierto de 12,5 mm de ancho y 50 mm de largo.

Coloque los bloques sobre las tiras espaciadoras y sepárelos 12,5 mm apartándolos mediante bloques metálicos tratados de 12,5 mm de espesor colocados a una distancia tal de sus extremos, que se forme una abertura de 12,5 x 50 x 50 mm entre los bloques con una abertura de 6,0 mm debajo de los bloques. Se pueden usar fajas de goma, abrazaderas u otro medio adecuado para sostener los bloques en posición.

Coloque sobre los bloques tiras de bronce tratadas con desmoldante. Vierta el material preparado, de acuerdo con 3, en el espacio entre bloques en cantidad suficiente para nivelar hasta el tope de las tiras espaciadoras. Después de enfriar por al menos 2 h, remueva el exceso de material que sobresale más fuera del tope y fondo de los bloques, cortando con un cuchillo o espátula metálica caliente.

Si el material se contrae durante el enfriamiento reduciendo su nivel por debajo de los topes de los bloques de mortero o si se detecta otro defecto de vaciado, la probeta debe descartarse.

**6.4 Elongación a Baja Temperatura.** Coloque para ensaye tres probetas, preparadas como se describió anteriormente, en atmósfera constante a la temperatura especificada para el ensaye dentro de un rango de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  por no menos de 4 h; luego retire los bloques espaciadores metálicos y monte inmediatamente las probetas en las abrazaderas alineadoras de la máquina de elongación. Alargue las muestras hasta 12,5 mm a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h; durante este período mantenga la temperatura a  $-5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ó a  $-15^{\circ}\text{C}$ , si corresponde.

**6.5 Compresión.** Terminado el ensaye de elongación descrito en 6.4, retire las probetas desde la máquina de elongación y almacénelas a la temperatura de la sala por 2 h. Reubique los espaciadores metálicos de 12,5 mm entre los bloques de mortero y deje cada probeta sobre uno de los bloques para que el peso del bloque superior comprima el sellante.

**6.6 Número de Ciclos.** Tres ciclos de elongación seguidos por compresión constituyen un ensaye completo para determinar la ligazón.

## 7.- Resiliencia.

**7.1 Probeta para Ensayar.** Prepare una probeta tal como se especifica en 5, usando una cápsula de 177,5 cm<sup>3</sup> y antes de ensayarla, cúrela por 24 h bajo condiciones normales de laboratorio.

**7.2 Procedimiento.** Ensaye la probeta (acondicionada por lo menos 1 h en un baño de agua a 25 ± 0,1° C) con un penetrómetro normal al cual se le ha substituido la aguja por la herramienta de penetración de bola mostrada en la Lámina 8.702.4.B. Cubrir la bola del penetrómetro ligeramente con glicerina o talco.

Coloque la bola del penetrómetro en contacto con la superficie de la muestra y el indicador del dial marcando cero. Ilumine adecuadamente el costado de la cápsula de manera que pueda observar con facilidad el contacto inicial entre la bola y la muestra.

En seguida, suelte la herramienta de penetración de bola, permitiendo que penetre la muestra por 5 s y registre la lectura como penetración de bola, P, en cm con aproximación a la centésima. Sin regresar el dial al punto cero, presione hacia abajo el penetrómetro de bola, adicionando 100 (esto es para leer P + 100) a velocidad uniforme en 10 s.

Reajuste la espoleta para mantener la herramienta abajo por 5 s adicionales; en ese lapso regrese el dial a cero. Suelte la espoleta permitiendo la recuperación de la muestra por 20 s; registre la lectura final del dial, F. Haga estas determinaciones en 3 puntos igualmente espaciados uno del otro y a no menos de 13 mm desde el borde de la cápsula.

Calcule la recuperación (una medida de resiliencia) como sigue:

$$\text{Recuperación (\%)} = P + 100 - F$$

Registre el promedio de tres determinaciones como la resiliencia.

## 8.- Ensaye de Compatibilidad con el Asfalto.

### 8.1 Preparación de la Probeta.

a) Prepare probetas duplicadas de no menos de 100 mm de diámetro y 63 mm de alto de una mezcla asfáltica en caliente, usando cemento asfáltico de penetración 85 - 100.

**Nota 2:** Muestras preparadas según el Método 8.302.40 son adecuadas para este propósito. Otras muestras circulares, con dimensiones y propiedades similares, son también aceptables. La densidad y contenido de asfalto de las muestras serán aquellos valores que se especifican en la mezcla de diseño del pavimento asfáltico, usando el método de diseño especificado por el agente comprador.

b) Deje enfriar la muestra a la temperatura de la sala, después corte mediante aserrado húmedo con una sierra de albañilería de conducción manual, una ranura de 100 mm de largo por 13 ± 3 mm de ancho por 19 ± 3 mm de profundidad, en la parte superior de la superficie de cada muestra. Refriegue las ranuras formadas con una escobilla de cerdas duras, mientras sostiene las muestras bajo un chorro de agua que remueva todos los residuos del corte. Deje secar las muestras y regréselas a la temperatura de la sala, después de lo cual enróllelas firmemente con cinta de tela adhesiva, u otro refuerzo que prevenga el hundimiento o colapso, durante el período de ensaye siguiente. Calafatee los extremos de la ranura para prevenir fugas; vacíe el sello de junta preparado como se describió en 3 dentro de la ranura sobrellenando las ranuras ligeramente.

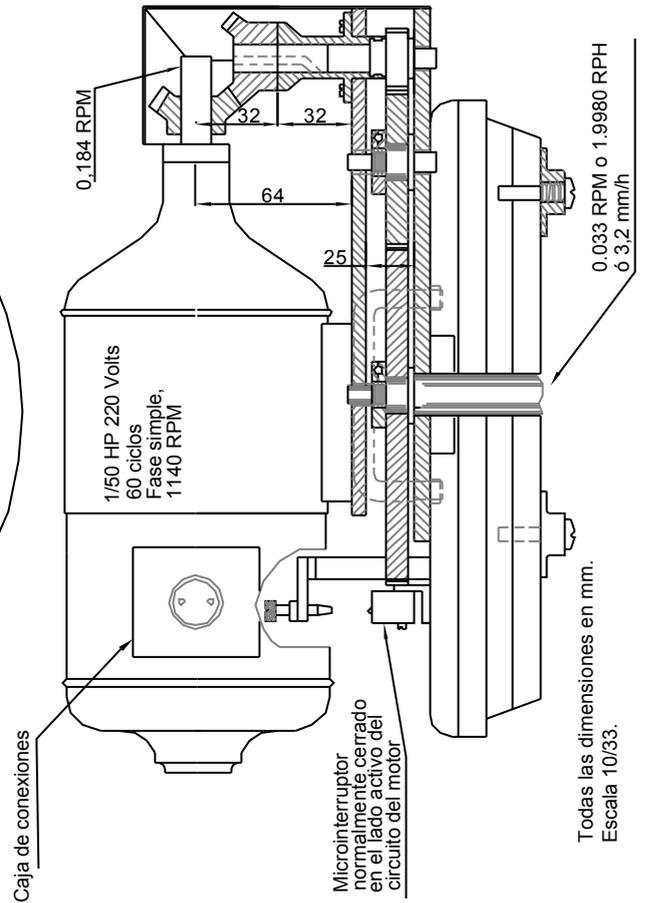
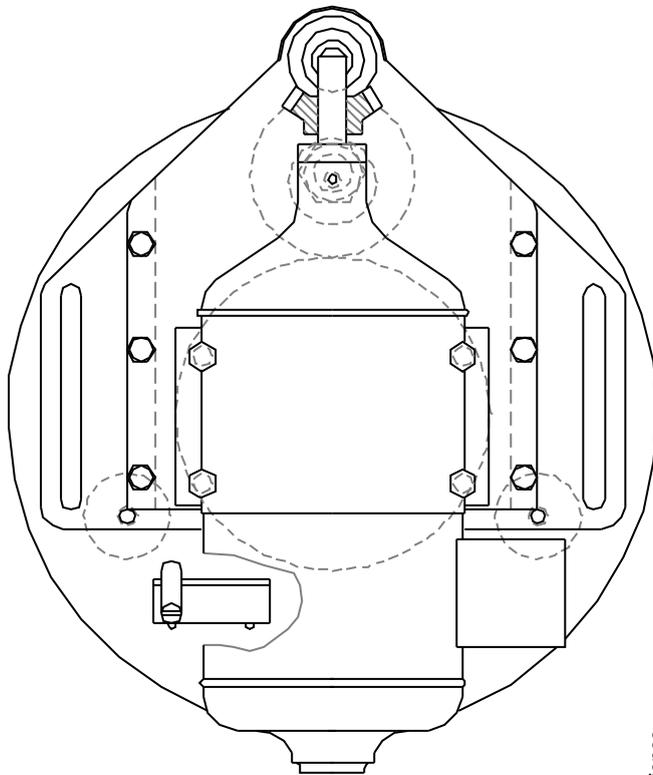
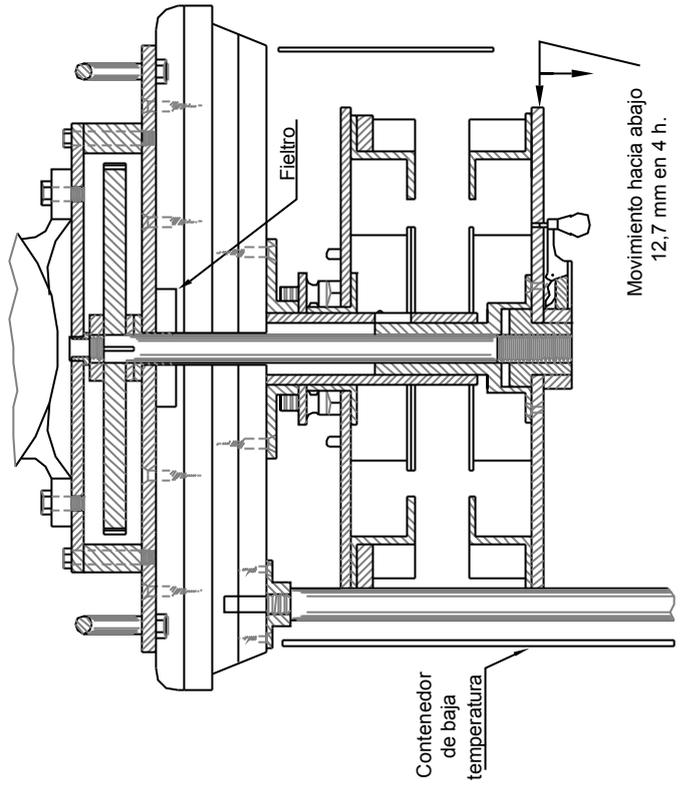
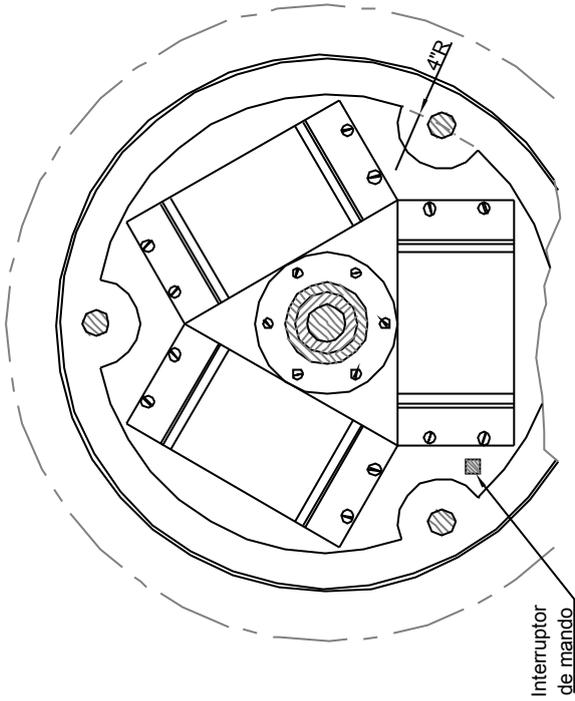
No permita que el sellante se derrame sobre la superficie del concreto asfáltico adyacente a la ranura. Una vez que el compuesto sellador se ha enfriado a la temperatura de la sala, remueva cualquier exceso del sellante con un cuchillo caliente, de modo que su superficie quede a nivel con la superficie de la muestra.

**8.2 Procedimiento.** Coloque muestras duplicadas en un horno manteniendo a temperatura de 60 ± 3°C por 72 h; inspeccione las muestras al menos una vez cada día, para prevenir hundimiento o colapsos durante el período de ensaye.

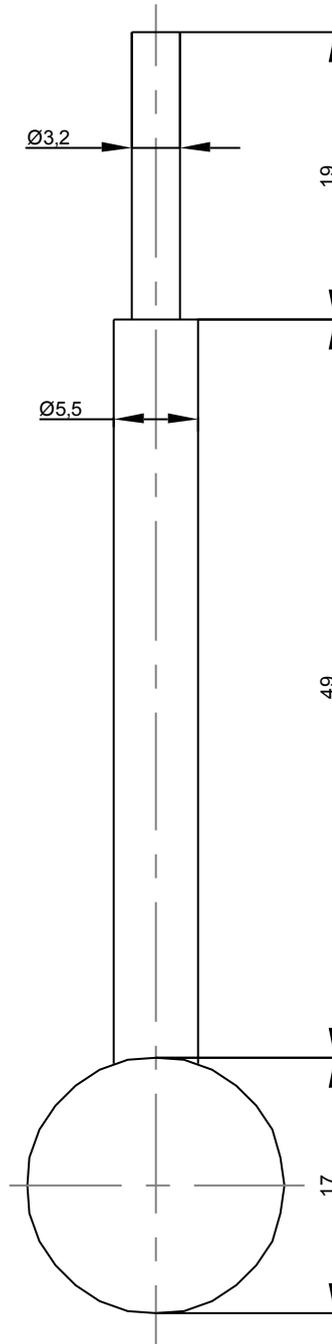
**8.3 Resultado del Ensaye de Compatibilidad.** Inmediatamente después de sacar del horno y de enfriar a temperatura de la sala, examine las muestras para determinar incompatibilidades entre el sellante de juntas con el concreto asfáltico.

**9.- Calentamiento Prolongado.** Prepare la muestra del sello de junta como se indica en 3, cuidando de mantener la temperatura de vaciado que recomienda el fabricante, en vez de la temperatura de seguridad de calentamiento.

Agite continuamente por 6 h y al final de cada período vacíe el sellador y ensaye como se indica en este método.



- Material: Acero
- Peso de la bola:  $27,5 \pm 0,1$  g
- Peso total de la bola y  
columna del penetrómetro:  $75 \pm 0,01$  g



Todas las dimensiones en milímetros.