

# Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

**NTM**  
**007**

**ISBN Colección:** 978-956-7674-92-3  
**ISBN NTM 007:** 978-956-7674-97-8

**Ministerio de Vivienda y Urbanismo**  
Rodrigo Pérez Mackenna

**Subsecretario de Vivienda y Urbanismo**  
Francisco Irarrázaval Mena

**División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional**  
Ragnar Branth Litvanyi

**Diseño**  
Jennifer Cofré Iribarra

# Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

**NTM**

**007**



# Introducción

Al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) le corresponde formular y supervisar la política habitacional y urbanística en nuestro país, velando porque las obras de urbanización y construcción, y los materiales y sistemas a utilizar en las edificaciones, cumplan con los estándares vigentes. Para realizar esta labor, el Minvu debe contar con normas o reglamentos técnicos referentes a las materias que le corresponde conocer.

Es ese marco, y derivado de las graves consecuencias provocadas por el terremoto que en 2010 afectó a la zona central del país, el Minvu llevó adelante un proceso de análisis de la normativa legal, reglamentaria y técnica vigente, que regula el proceso constructivo en sus distintos aspectos, encomendándose a la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (Ditec) la revisión de los temas más relevantes, centrándose en aspectos en los cuales la reglamentación vigente no era explícita o no contemplaba regulación alguna.

Para llevar a cabo dicho análisis se solicitó al Instituto de la Construcción la colaboración a través de un comité de expertos en cada materia. El trabajo desarrollado por el referido grupo de expertos se ha traducido en una propuesta de normas, denominadas Normas Técnicas Minvu (NTM), las cuales constituyen el primer cuerpo de normas elaboradas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

La presente norma guarda relación con la denominada NTM 007 “Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche”, que establece requisitos mínimos de diseño estructural, complementarios a los exigidos en otras normas, aplicables sólo a edificaciones que se construyan en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que se encuentran en áreas de riesgo de inundación.

El objetivo principal es reducir los daños y el riesgo de colapso en las estructuras ante un evento de inundación, sin que esto asegure el resguardo de los ocupantes dentro de la vivienda.



Norma Técnica Minvu  
NTM 007

---

# Norma Técnica NTM 007

Establecida mediante Res. Ex. N° 8952, de fecha 5/12/2013

**Resuelvo N° 1:** Establécese la Norma Técnica 007 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo “Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunamis o seiche”, en adelante NTM 007, cuyo texto es el siguiente:

**Diseño:** Diseño estructural para edificaciones en área de riesgo de inundación por tsunami o seiche.

## 1. Preámbulo

Las disposiciones contenidas en esta norma técnica son referenciales y aplicables al diseño estructural de las edificaciones y estructuras nuevas, reubicación y modificaciones, ampliaciones, reconstrucción, remodelación estructural importante o cambio de destino de edificaciones existentes, en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que se encuentren emplazadas en las áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche, definidas en los instrumentos de planificación territorial (IPT). Para aquellos territorios que no cuenten con un IPT vigente, se podrá considerar las cartas de la autoridad competente en que se identifique el área bajo amenaza de inundación.

**a.** Esta norma técnica ha considerado como referencia la ordenanza de construcciones oficial de Honolulu, Hawaii, EE.UU. año 2002 -2010 “Revised Ordinances Honolulu” (<http://www.co.honolulu.hi.us/refs/roh/>) y FEMA P646 / June 2008 “Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis”.

**b.** La sismicidad de Chile da lugar a la generación de dos tipos de maremotos o tsunamis: “tsunami de campo cercano” y “tsunami de campo lejano”, los que son considerados explícitamente en este reglamento.

c. En el caso que los estudios de riesgo, que sirvieron como base para la confección del IPT, no contengan los datos requeridos por esta norma de “columna de agua” y “velocidades de corriente”, será responsabilidad del interesado contratar o acceder a los estudios necesarios para la obtención de ellos.

d. Participaron en la elaboración de la presente Norma Técnica las siguientes instituciones y/o personas:

INSTITUCIÓN	NOMBRE
Cámara Chilena de la Construcción	Luis Felipe Prats A.
	Manuel Brunet B.
Cementos Bío Bío S.A.	Jorge del Pozo B.
	Sergio Vidal A.
Colegio de Arquitectos	Andrea Aguilera M.
	Juan Luis Ramirez R.
Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC	Pablo Maturana B.
IDIEM - Universidad de Chile	Fernando Yáñez U.
IEC Ingeniería SA	Eduardo Santos M.
Instituto de Geografía PUC	Marcelo Lagos L.
Instituto de la Construcción	Gustavo Cortés A. - Secretario Técnico
	José Pedro Campos R.
Instituto del Cemento y el Hormigón de Chile	Augusto Holmberg F.
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Adolfo Balboa M.
	Marcelo Soto Z.
PRDW Aldunate Vásquez Ingenieros Ltda.	Benjamín Carrión A.
	Gregorio Aldunate M.
Rene Lagos y Asociados	Rene Lagos C.
Sandor Ingenieros	Miguel Sandor E.
Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica	Patricio Catalán M.
	Rodrigo Cienfuegos C.
	Patricio Winckler G.
Universidad de Chile	Luis Ayala R.
	María Ofelia Moroni Y.
	Rodolfo Saragoni H. - Presidente Comité

# Contenido

Página	Temas
7	1. Preámbulo
10	2. Alcance de la norma
12	3. Términos, referencias y definiciones
17	4. Requisitos y criterios generales
18	5. Métodos de protección por inundación por tsunami
20	6. Requisitos estructurales

## 2. Alcance de la norma

**a.** Esta norma técnica establece los requisitos mínimos de diseño estructural, complementarios a los exigidos en otras normas, y se aplica sólo a edificaciones que se construyan en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que se encuentran en áreas de riesgo de inundación definidas por los IPT. Para aquellos territorios que no cuenten con un IPT vigente, se podrá considerar las cartas o mapa de inundación de la autoridad competente en que se identifique el área bajo amenaza de inundación.

**b.** El objetivo principal de la presente norma técnica es reducir los daños y el riesgo de colapso en las estructuras ante un evento de inundación, sin que esto asegure el resguardo de los ocupantes dentro de la vivienda.

**c.** Las recomendaciones contenidas en el texto del presente documento, se deberán tener presente en tal carácter y si procedieren, para los diseños estructurales en las áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche que se contraten, aprueben, supervisen o ejecuten por los Servicios de Vivienda y Urbanización y, en general, por todo organismo público o privado que desarrolle alguna de dichas actuaciones.



# 3. Términos, referencias y definiciones

## a. Terminología

**i. Autoridad competente:** Organismo o entidad dotada de facultades de regulación, ordenación o control de las actividades territoriales, según la legislación vigente.

**ii. Cargas permanentes:** Carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes.

**iii. Carta o mapa de inundación:** Documento emitido por la autoridad competente que indica las zonas potencialmente inundables por tsunamis o seiche y que se utiliza de insumo para definir las áreas de riesgo en los IPT.

**iv. Edificación protegida contra colapso por inundación:** Edificación que cumple con los requisitos de diseño estructural establecidos en la presente norma técnica.

**v. Maremoto o tsunami:** Serie de ondas marinas de ocurrencia natural que resulta de una perturbación rápida y a gran escala de la masa de agua, causada por terremotos, deslizamiento de tierras, erupciones volcánicas o impacto de meteoritos.

**vi. Maremoto o tsunami de campo cercano:** Aquellos que son generados por sismos o terremotos con epicentro marítimo ubicado a menos de 200 km del borde costero potencialmente inundable.

**vii. Maremoto o tsunami de campo lejano:** Aquellos que son generados por terremotos con epicentro marítimo ubicado a más de 200 km del borde costero potencialmente inundable.

**viii. Muros o tabiques colapsables:** Elementos no estructurales verticales que por efectos del impacto de una ola se desprenden de la estructura, sin dañarla.

**ix. Profesional especialista:** Ingeniero civil o arquitecto con conocimientos en diseño de estructuras.

**x. Seiche:** Onda estacionaria en un cuerpo de agua encerrado o parcialmente encerrado. Los seiches y los fenómenos relacionados a seiche se observan en lagos, embalses, piletas, bahías, mares. La clave de requerimiento para formar un seiche es que tal cuerpo de agua esté, al menos, parcialmente delimitado, lo que permite la formación de ondas estacionarias.

**xi. Sismo tsunamigénico:** Sismo que da origen a un tsunami.

**xii. Socavación:** Erosión localizada del terreno causada por el escurrimiento del agua.

**xiii. Área de riesgo de inundación:** Área definida por los instrumentos de planificación territorial, cuando corresponda.

**xiv. Zona potencialmente inundable:** Zona emplazada bajo la cota de inundación de acuerdo a los mapas de inundación proporcionados por la autoridad competente y que no cuenten con un IPT vigente.

**xv. Cota de inundación:** La definida en el estudio que sirvió de base para la definición del IPT, o en el caso de no haber sido incluida por dicho estudio, la que haya sido definida por la carta o mapa de inundación.

# 3. Términos, referencias y definiciones

## b. Referencias

### Normativa Sísmica Vigente.

**NCh 1537 Diseño estructural.** Cargas permanentes y cargas de uso.

**NCh 3171 Diseño Estructural.** Carga de Ocupación.

**Norma Técnica Minvu 003.** "Edificaciones Estratégicas y de Servicio Comunitario".

**FEMA P646.** June 2008 "Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis".

**Ordenanza de construcciones oficial de Honolulu. Hawaii, EE.UU, año 2002 - 2010 "Revised Ordinances Honolulu".**

## c. Definiciones de Parámetros Hidrodinámicos y Topográficos (ver Fig. 1)

**i. Nivel de Referencia Topobatimétrico, NRTB:** Nivel vertical único al cual deben estar referidas las cotas topográficas y batimétricas en la zona de estudio. Éste debe ser un valor común, que garantice la congruencia entre cotas topográficas y batimétricas.

**ii. Nivel de Referencia del Evento, NRE:** Nivel vertical único referido al NRTB, que representa el nivel medio del mar al momento del evento. De modo conservador, se sugiere utilizar el nivel de la máxima pleamar, la cual puede ser estimada a partir de las Tablas de Marea Astronómica, provistas por el Servicio Hidrográfico de la Armada.

**iii. Cota de terreno,  $z(x,y)$ :** Cota de elevación del terreno, referida al NRE. Este es un valor local, dato para la modelación y esencial para cálculos en las inmediaciones de la estructuras.

**iv. Línea de Inundación,  $I(x,y)$ :** Lugar geométrico de todos los puntos correspondientes a la máxima intrusión horizontal del tsunami. Representa la envolvente de la zona inundable.

**v. Runup o cota de inundación por trepado  $R$ :** Diferencia entre la cota del punto de máxima intrusión horizontal alcanzado por el tsunami y el nivel de referencia vertical relevante al tsunami  $NRE$ . Se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R(x,y) = z(I(x,y)) - NRE$$

Se debe notar que para una zona de estudio dada, se contará con múltiples valores de  $R$  en función de la topografía. Se puede definir un valor único de  $R$ , que represente de manera global el runup en una zona de validez o influencia para la estructura en estudio.

**vi. Altura de Inundación,  $h(x,y)$ :** Diferencia entre la cota máxima de la superficie libre del fluido durante el evento y el nivel de referencia vertical relevante al tsunami  $NRE$ . En caso de no disponer de este dato, se puede estimar como:

$$h = 1,0 * R,$$

Para edificaciones emplazadas en territorios en que las leyes vigentes permitan edificar y se encuentren en un área de riesgo de inundación definida en un IPT o en una zona potencialmente inundable.

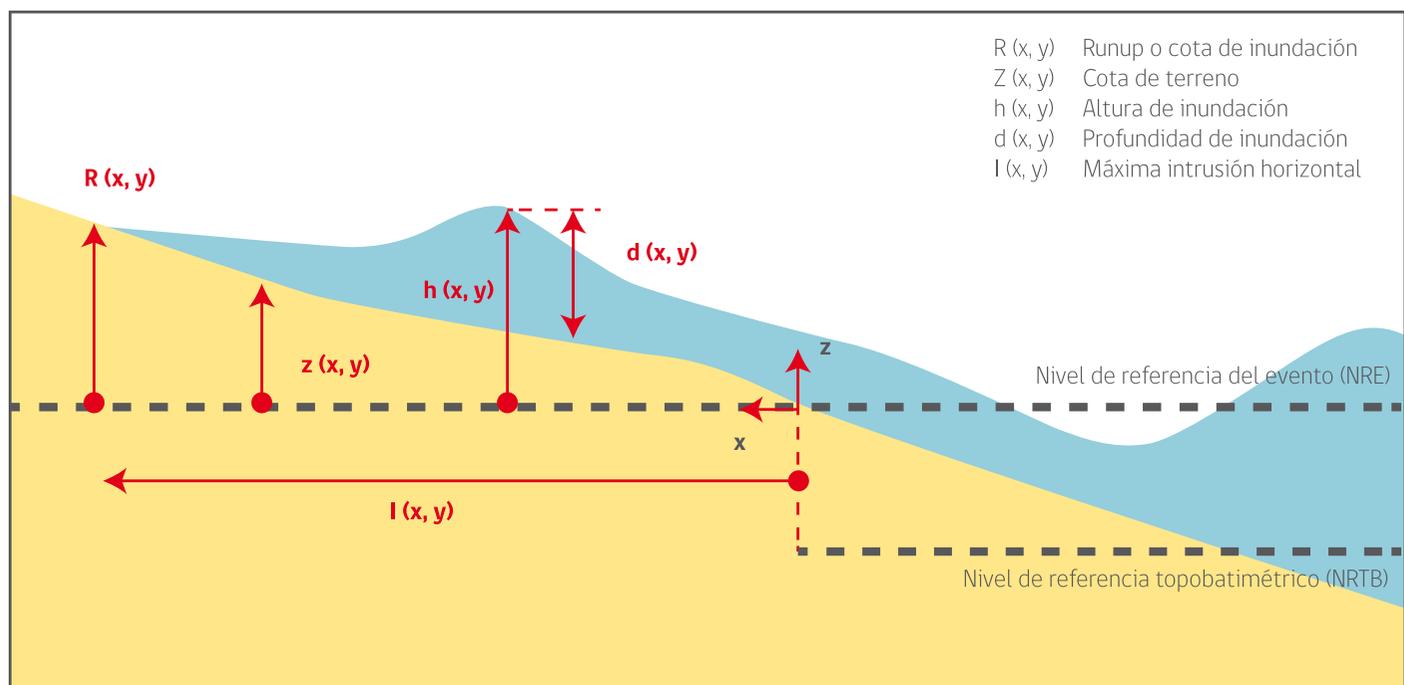
### 3. Términos, referencias y definiciones

**vii. Profundidad de Inundación,  $d(x,y)$ :** Diferencia entre la cota máxima de la superficie libre del fluido durante el evento y la cota de terreno existente en el mismo punto. Este es un valor local, que debe ser calculado en las inmediaciones de la estructura. De acuerdo con las definiciones anteriores, puede ser estimado como:

$$d=h-z$$

**viii. Velocidad del flujo,  $u(x,y,t)$ :** Vector de velocidad del flujo en cada punto del dominio. Es una cantidad variable en el tiempo, tanto en sentido como magnitud. Este es un valor local y variable en el tiempo que debe ser calculado en las inmediaciones de la estructura.

Figura 1: Definición de Variables



## 4. Requisitos y criterios generales

Las estructuras que requieren ser protegidas de los efectos de inundación por tsunami o seiche, debido a que se emplazan total o parcialmente en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que esté definida como un área de riesgo de inundación o zona potencialmente inundable, deberán ser diseñadas por un ingeniero civil o arquitecto, de acuerdo a las recomendaciones establecidas en esta norma técnica. Para estos efectos se distinguen las siguientes situaciones:

### **a. Edificaciones emplazadas en áreas de riesgo de inundación y zonas potencialmente inundables destinadas a la habitación:**

Se deben proteger construyéndolas elevadas, sobre estructuras de soporte o sobre un relleno protegido, diseñados o verificados por un profesional especialista, o construyéndolas en terreno natural no perturbado, de modo que la zona destinada a la habitación se ubique sobre la cota de inundación (R), debiendo incluir un acceso libre hacia rutas de evacuación.

### **b. Edificaciones emplazadas en áreas de riesgo de inundación y zonas potencialmente inundables y no destinadas a la habitación:**

Cualquier edificación o parte de la misma, con destino no habitacional, deberá construirse considerando algunas de las siguientes opciones:

- Paso del agua sin mayores obstáculos.
- Estructura con componentes estructurales que tengan la capacidad de resistir cargas hidrostáticas e hidrodinámicas y los efectos de flotabilidad debido a la inundación.
- Tabiques colapsables bajo carga de tsunami que no pongan en riesgo la estructura principal de la edificación.

### **c. Refugios de evacuación vertical a zonas seguras:**

Deben ser diseñadas de acuerdo a "Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis" FEMA P646 / June 2008".

# 5. Métodos de protección por inundación por tsunami

**a. Las edificaciones deberán estar diseñadas y construidas considerando los efectos del sismo tsunamigénico, además del tsunami.**

**b. Criterios aplicables a las edificaciones**

**i. Terreno natural:**

- El diseño de la fundación debe considerar los efectos de la saturación del suelo y/o socavación en el comportamiento de la fundación.
- Se debe estudiar los efectos de las inundaciones y de la socavación en la estabilidad de taludes.

**ii. Edificaciones elevadas sobre subestructuras que permiten el paso del agua:**

Las edificaciones emplazadas en terrenos bajo la cota de inundación, para las que se proyecte el primer nivel habitable sobre la cota de inundación, deben estar apoyadas en una subestructura formada por elementos estructurales tales como pilares o columnas, los que deben cumplir con los siguientes requisitos:

- El espacio libre entre los elementos de soporte, no podrá ser inferior a 2,40 m entre los puntos más cercanos.
- Los pilares deben ser compactos y libres de apéndices innecesarios, que actúan como trampa o restringen el libre paso de los escombros durante una inundación. Solo se permiten muros colapsables. Las columnas y sus fundaciones deben resistir todas las cargas establecidas en esta norma técnica.
- Los arriostramientos utilizados para proporcionar estabilidad



Las edificaciones emplazadas en terrenos bajo la cota de inundación, para las que se proyecte el primer nivel habitable sobre la cota de inundación, deben estar apoyadas en una subestructura formada por elementos estructurales tales como pilares o columnas.

lateral se deben diseñar de forma que minimicen la obstrucción al flujo de inundación y reducir la posibilidad de atrapar los escombros que flotan.

- En todos los casos se debe considerar el efecto de la inmersión del suelo y las cargas adicionales relacionadas con agua de la inundación.
- Se debe considerar el potencial de socavación alrededor de los pilares y debe establecerse las medidas de protección necesarias.

### **iii. Edificaciones que no permiten el paso del agua**

Las edificaciones emplazadas en terrenos bajo la cota de inundación que dispongan de zonas de acceso hacia rutas de evacuación aprobadas por la autoridad competente, deberán ser diseñadas para soportar las fuerzas indicadas en la presente norma.

### **iv. Edificaciones sobre relleno**

- Las edificaciones pueden ser construidas sobre material de relleno controlado, excepto en las zonas donde el relleno esté específicamente prohibido por la autoridad competente, como soporte estructural de las construcciones.
- El diseño del relleno debe demostrar que no altera sustancialmente las características del escurrimiento consideradas en los planos de inundación. Asimismo el relleno tampoco debe afectar a otras construcciones existentes ni a otras instalaciones o sistema de drenaje.

# 6. Requisitos estructurales

## a. Criterios Generales

Las edificaciones y estructuras, emplazadas en áreas de riesgo de inundación y zonas potencialmente inundables, deben resistir la combinación de cargas previstas en esta norma y todas las cargas exigidas en las demás normas de diseño estructural aplicables.

### i. Estabilidad

- **Vuelco o deslizamiento:** Las edificaciones y estructuras que se diseñen conforme a las disposiciones de esta norma deberán considerar un factor de seguridad mínimo de 1,2 por falla de deslizamiento o de vuelco.
- **Flotación:** Las edificaciones y estructuras que se diseñen conforme a las disposiciones de esta norma deberán considerar un factor de seguridad mínimo de 1,33.

### ii. Cargas

Las siguientes cargas se deben considerar en el diseño de edificaciones sujetas a las disposiciones de esta norma:

- Cargas hidrostáticas
- Cargas hidrodinámicas

### iii. Combinaciones de cargas

Todas las cargas previstas en esta norma se aplicarán sobre la estructura y los componentes estructurales, de tal manera que el efecto combinado de ellas de lugar a cargas y tensiones máximas.



Las edificaciones y estructuras, emplazadas en áreas de riesgo de inundación y zonas potencialmente inundables, deben resistir la combinación de cargas previstas en esta norma y todas las cargas exigidas en las demás normas de diseño estructural aplicables.

Estas cargas se combinarán de la siguiente manera:

- **Cargas permanentes:** Usar 100% de la carga permanente.
- **Sobrecargas:** Se deben reducir cuando de ello resulte una condición más desfavorable. En estanques de almacenamiento, piscinas y otras estructuras similares diseñadas para contener y almacenar materiales, que pueden estar llenos o vacíos en caso de inundación, ambas condiciones deben ser analizadas en combinación con las cargas de inundación de la estructura.
- **Cargas Sísmicas:** No es necesario considerar las cargas sísmicas combinadas con las cargas producto del tsunami cuando éste es de campo lejano. En zonas de tsunami de campo cercano se debe considerar una degradación de rigidez en la estructura debido al sismo tsunamigénico de acuerdo a lo indicado en el punto 6 b. iv.
- **Otras cargas eventuales:** No es necesario considerar otras cargas eventuales combinadas con las cargas producto del tsunami o seiche.
- **Cargas de Tsunami:** Los valores obtenidos para las cargas de tsunami mediante el uso de la presente norma, no requieren ser amplificados mediante factores de carga para efectos de diseño por resistencia, por lo que el factor de carga para las solicitaciones por tsunami es 1.0.

#### iv. Presiones admisibles del suelo:

Bajo condiciones de tsunami, la capacidad de soporte de los suelos sumergidos se ve afectada y reducida por el efecto boyante del agua



No es necesario considerar las cargas sísmicas combinadas con las cargas producto del tsunami cuando éste es de campo lejano. En zonas de tsunami de campo cercano se debe considerar una degradación de rigidez en la estructura debido al sismo tsunamigénico de acuerdo a lo indicado en el punto 6.b)

## 6. Requisitos estructurales

sobre el suelo. Para las fundaciones de las edificaciones a que se refiere esta norma técnica, la capacidad de soporte de los suelos deberá ser evaluada por un método reconocidamente aceptado. Los suelos expansivos deben ser analizados con especial cuidado. Los suelos que pierden toda la capacidad de soporte cuando están saturados o se licúan, no se deben usar como suelo de fundación.

### **b. Criterios de diseño para edificaciones ubicadas total o parcialmente en zonas de riesgo de inundación.**

**i.** Estas edificaciones deben ser diseñadas para resistir los efectos de las inundaciones. La profundidad de inundación ( $d$ ) se determinará a partir de las cartas o mapas de inundación proporcionadas por la autoridad competente, en aquellos territorios que no cuente con IPT vigente. En los casos en que existe un IPT vigente que haya definido áreas de riesgo por inundación, se debe utilizar el dato proporcionado por el estudio que haya servido de base para dicha definición.

**ii.** Debe considerarse en el diseño la totalidad de las fuerzas y los efectos de la inundación en la edificación.

**iii.** Los materiales utilizados deben considerar las mismas tensiones admisibles que las normas de diseño estructural establecen para cada uno de ellos.

**iv.** Para tsunamis de campo cercano, además de las consideraciones del punto anterior, no se permite variaciones de las tensiones admisibles o factores de carga por eventualidad de carga, y además, debe considerarse una degradación de rigidez en la estructura por el sismo tsunamigénico, justificada por el profesional especialista del diseño estructural, pero no menor a un 25% para edificaciones en altura con evacuación vertical.

Las edificaciones elevadas que se ubiquen sobre una subestructura, deben estar adecuadamente ancladas y conectadas a ella.

**v.** Los niveles de socavación a considerar en el diseño de fundaciones deben ser los especificados en la tabla 6.1 a menos que se realice un estudio específico de la profundidad de socavación.

**vi.** Las fundaciones superficiales y el suelo natural de soporte deben estar protegidos en todos sus lados contra la socavación.

**vii.** Se permite fundaciones superficiales no protegidas si se cumple simultáneamente las siguientes condiciones:

- Que la profundidad de socavación sea menor o igual a un metro.
- Que la profundidad de inundación (d) no supere un 50% de la altura de inundación (h).
- Que se apoye en suelo natural, por lo menos medio metro por debajo de la profundidad de socavación.

**viii.** La tabla 6.1 da una estimación de las profundidades de socavación del suelo por debajo del nivel de terreno, expresado como un porcentaje de la profundidad de inundación en el lugar (d).

**Tabla 6.1: Socavación Estimada expresada como un porcentaje de la profundidad de inundación en el lugar (d)**

Los valores indicados en la tabla 6.1 pueden ser reducidos hasta en un 50% si la zona potencialmente inundable presenta pendientes uniformes e inferiores a un 5% ( $\alpha < 5\%$ ).

SÍMBOLO	d ≥ 0,5 h	d < 0,5 h
Arena Suelta	80% d	60% d
Arena densa	50% d	35% d
Limo esponjado	50% d	25% d
Limo Rígido	25% d	15% d
Arcilla suelta	25% d	15% d
Arcilla Rígida	10% d	5% d

# 6. Requisitos estructurales

## c. Fuerzas de diseño

### i. Definición de Variables

En lo que sigue, se utilizarán las siguientes variables:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN <sup>2</sup>	VALORES Y UNIDADES
$\rho_s$	Densidad del fluido, incluyendo sedimento	1200 kg m <sup>-3</sup>
$g$	Aceleración de gravedad	9.81 ms <sup>-2</sup>
$Y$	Peso específico del fluido incluyendo sedimento, equivalente al producto de la densidad por la aceleración de gravedad	11722 N m <sup>-3</sup>
$h_w$	Altura total del elemento estructural	m
$b$	Ancho del elemento expuesto a una fuerza	m
$d$	Profundidad de inundación frente a la estructura	m
$y$	Distancia vertical del punto de aplicación de la fuerza, medida desde el suelo en las inmediaciones de la estructura	m
$z$	Cota de terreno en las inmediaciones de la estructura	m
$\alpha$	Pendiente media del terreno	Grados
$R$	Runup en las inmediaciones de la estructura	m
$u$	Velocidad del flujo en las inmediaciones de la estructura	m s <sup>-1</sup>
$V_d$	Volumen de agua desplazado	m <sup>3</sup>
$h_t$	Altura del agua atrapada en un piso superior, relativa al nivel del piso	m
$C_d$	Coefficiente de arrastre hidrodinámico	2 Adimensional
$C_u$	Coefficiente de levantamiento	3 Adimensional
$M$	Masa de objeto flotante	Kg
$B_d$	Ancho mínimo de acumulación	≥ 1,5 b m

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	VALORES Y UNIDADES
$F_h$	Fuerza hidrostática	N
$F_b$	Fuerza boyante	N
$F_d$	Fuerza de arrastre, en la dirección del flujo	N
$F_I$	Fuerza de impacto, oleaje no rompiente	N
$F_{IF}$	Fuerza de Impacto por Objetos Flotantes	N
$F_{dd}$	Fuerza de arrastre debida a acumulación de objetos flotantes	N
$F_u$	Fuerza de levantamiento	N
$f_{sg}$	Esfuerzo de sobrecarga gravitacional	$N\ m^{-2}$
$A_f$	Área de losa	$m^2$
$\alpha$	Ángulo de inclinación del piso bajo la losa	Grados

## ii. Definición y cálculo de fuerzas

**a. Fuerzas Hidrostáticas:** Incluyen fuerzas laterales debidas a presión hidrostática, fuerzas verticales boyantes y cargas adicionales en pisos elevados, debidas a la posible acumulación de agua.

**a.1. Fuerza hidrostática:** Fuerza causada por un desequilibrio de presión debido a un diferencial de altura de agua en los lados opuestos de una estructura o elemento estructural.

Parcialmente sumergido

$$F_h = \frac{1}{2} \gamma b d^2$$

$$y = \frac{1}{3} d$$

Totalmente sumergido

$$F_h = \frac{1}{2} \gamma b h_w (2d - h_w)$$

$$y = \frac{1}{3} h_w [(3d - 2h_w)/(2d - h_w)]$$

## 6. Requisitos estructurales

- **a.2. Fuerza boyante:** Fuerza de levantamiento vertical sobre una estructura, causada por su inmersión parcial o total.

$$F_b = \gamma V_d$$

**b. Fuerzas Hidrodinámicas:** Incluyen fuerzas laterales debidas a la presencia de un flujo de fluido en movimiento alrededor de la estructura. Incluyen la fuerza de arrastre propiamente tal, fuerzas impulsivas debidas al impacto del frente de ola, y la fuerza de impacto de objetos flotantes.

- **b.1. Fuerza de arrastre:** Fuerza ejercida sobre un objeto causada por la velocidad del flujo.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d b (d u^2)_{max}$$
$$(d u^2)_{max} = g R^2 (0.125 - 0.235 z/R + 0.11 (z/R)^2)$$

*y = Centroide área proyectada*

- **b.2. Fuerza de impacto del frente de olas:** Fuerza ejercida sobre una estructura causada por un frente de agua que choca contra ésta.

Frente no rompiente

$$F_i = 1.5 F_d$$

*y = Centroide área proyectada*

- **b.3. Fuerza de impacto por objetos flotantes:** Fuerza ejercida sobre una estructura causada por escombros



## 6. Requisitos estructurales

tales como madera flotante, pequeñas embarcaciones, partes de edificaciones, etc., al chocar con ésta. Esta fuerza actúa en forma local en el elemento expuesto.

Esta única carga concentrada actúa horizontalmente al nivel de la cota de inundación o en cualquier punto por debajo de ella y es igual a la fuerza del impacto producido por escombros de 500 kg masa que viajan a la velocidad del agua de la inundación y actúa sobre una superficie de 0,1 m<sup>2</sup> de la cara de la estructura, donde se asume se produzca el impacto.

La fuerza de choque se aplicará al material estructural en el lugar más crítico o vulnerable determinado por el diseñador. Se supone que la velocidad del cuerpo va de  $Ub$  a cero durante un intervalo de tiempo finito ( $\Delta t$ ) pequeño para que la siguiente aproximación sea válida:

$$F_{IF} = 500 (Ub/\Delta t) \\ y = d$$

$\Delta t$ = intervalo de tiempo durante el cual ocurre el impacto.

Para madera como material estructural de la construcción, suponga  $\Delta t$ = 1 segundo. Si el material estructural de las construcciones es hormigón armado, use  $\Delta t$ = 0,1 segundos y acero como material de construcción estructural use  $\Delta t$ = 0,5 segundos.

### **b.4. Fuerza de apilamiento por objetos flotantes:**

La acumulación de objetos flotantes puede inducir una sobrecarga sobre los elementos estructurales, la cual

se calcula como una modificación de la fuerza calculada en b.1. y se adiciona a los cálculos.

$$F_{dd} = \frac{1}{2} \rho C_d B_d (d u^2)_{max}$$
$$(d u^2)_{max} = g R^2 (0.125 - 0.235 z/R + 0.11 (z/R)^2)$$

**c. Fuerzas hidrodinámicas verticales:** Incluyen fuerzas verticales asociadas a sobrecargas producto del atrapamiento de la ola en espacios confinados, y fluido atrapado, resultando en presión vertical sobre elementos tales como losas.

**c.1. Fuerza de levantamiento:** Fuerza vertical asociada a sobrecargas producto del atrapamiento de la ola en espacios confinados, y al flujo de momentum vertical.

$$F_u = \frac{1}{2} \rho C_u A_f (u \tan \alpha)^2$$

**c.2. Fuerza por sobrecarga gravitacional:** Fuerza vertical asociada a sobrecargas producto del atrapamiento de fluido en la estructura, que aumenta el peso aparente de la estructura. Su acción es vertical en el sentido de la gravedad, y se puede calcular por unidad de área. Notar que esta acumulación de fluido también genera una carga hidrostática sobre los elementos verticales que proveen el confinamiento.

$$f_{sg} = \gamma h_t$$

## 6. Requisitos estructurales

### iii. Combinación de Cargas Hidrodinámicas

Además de las solicitaciones hidrostáticas que corresponda, se debe considerar dos estados de cargas hidrodinámicas:

**a. Impacto inicial:** Incluye las fuerzas laterales debidas al arribo de la ola: el impacto del frente de ola  $F_{IF}$ , el impacto de objetos flotantes  $F_I$ , cada una actuando en forma puntual en sus respectivos puntos de aplicación.

**b. Post impacto:** Incluye las fuerzas debidas al flujo alrededor de la estructura: La fuerza hidrodinámica de arrastre  $F_d$ , el impacto de objetos flotantes  $F_I$ , y de apilamiento de objetos flotantes  $F_{dd}$ , cada una actuando en sus respectivos puntos de aplicación.

Se deben considerar además, las fuerzas verticales boyantes  $F_b$ , o levantamiento vertical  $F_u$  y  $f_{sg}$  según corresponda.





Ministerio de  
Vivienda y  
Urbanismo

Gobierno de Chile



CONSTRUCCIÓN  
SUSTENTABLE

**Ministerio de Vivienda y Urbanismo** - [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)  
Alameda 924 - Santiago - Chile  
Teléfono (56-2) 2351 3000