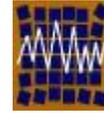




Universidad de Concepción  
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e  
Ingeniería Antisísmica

## Nº A12-03 EVALUACION DEL EFECTO DE TSUNAMI SOBRE EDIFICIOS

A. Verdugo<sup>1,2</sup> y J. Lizana<sup>3</sup>

1.- Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile

Blanco Encalada 2002, Santiago, Chile

e-mail: [averdugo@ing.uchile.cl](mailto:averdugo@ing.uchile.cl)

2.- Cade-Idepe Ingeniería y Desarrollo de Proyectos

José Domingo Cañas 2640, Santiago, Chile

email: [averdugo@cadeidepe.cl](mailto:averdugo@cadeidepe.cl)

3.- Ingeniero Civil Universidad de Chile

email: [jalizana@123mail.cl](mailto:jalizana@123mail.cl)

### RESUMEN

Se propone un procedimiento simplificado para el diseño de edificios sometidos a la acción de un tsunami. La metodología se basa en la recopilación de antecedentes (alturas de ola, daños en estructuras, etc.) de tsunami pasados y en simulaciones realizadas por el SHOA para algunas localidades costeras de Chile.

El procedimiento se aplica a un edificio de hormigón armado de 10 pisos, considerando combinaciones de altura del flujo (5, 10 y 15 m) y velocidad (3, 5 y 7 m/s).

Se concluye, para el edificio analizado, que en el caso de tsunami severos se necesita acero de refuerzo adicional al requerido por el diseño sísmico para los muros paralelos al flujo, principalmente en los 2 primeros pisos. También se requiere refuerzo adicional en muros perpendiculares al flujo.

*Palabras Clave: TSUNAMI, MAREMOTO, EDIFICIOS, CRITERIOS DE DISEÑO.*

## 1 GENERALIDADES

Los registros históricos (Monge,1993) dan cuenta, a partir del año 1562, sobre más de 35 tsunamis o maremotos originados por eventos sísmicos, frente a las costas chilenas. A lo menos 14 de éstos han sido de magnitud 3 o 4, en la escala de Imamura, con olas superiores a 10 m de altura. Si incorporamos a la estadística los tsunamis de grado 2, con olas superiores a 5 m de altura, se tiene una frecuencia media de 1 tsunami cada 23 años. Estas cifras confirman una condición de riesgo real y permanente frente a este tipo de amenaza. Las crónicas describen los devastadores efectos que numerosos tsunamis han ocasionado en el pasado. En la región de Valdivia aún pueden apreciarse las consecuencias del tsunami del 22 de mayo de 1960, último que asoló nuestro país. Los cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas del pasado tsunami de diciembre de 2004, en el sudeste asiático, son la evidencia más reciente del grado de destrucción que este fenómeno natural puede ocasionar.

El presente trabajo propone una metodología para evaluar el efecto que un tsunami genera sobre una edificación.

Para cumplir este objetivo resulta imprescindible caracterizar esta sollicitación. La severidad del tsunami en la costa depende de numerosos factores y condiciones, entre los cuales se destacan: magnitud y profundidad focal del terremoto que origina al tsunami; altura, área y velocidad de la dislocación; topografía del fondo marino; distancia de la costa al epicentro del terremoto; configuración del litoral de llegada del frente de onda y finalmente de la topografía tierra adentro del litoral. La conjunción de estos factores puede favorecer la formación de olas de gran altura con las consecuentes pérdidas de vidas humanas y grandes daños materiales en caminos, puertos, muelles, instalaciones industriales y ciudades.

## 2 DAÑOS

Los daños sobre construcciones causados por un tsunami pueden agruparse, de acuerdo a su origen, en las siguientes categorías: a) causados por el impacto de la corriente de agua y escombros durante el flujo y reflujos del tsunami, b) debidos a la inundación y, c) producto de la socavación de las fundaciones.

Es importante destacar que este estudio analiza sólo el efecto del impacto de la corriente sobre la estructura, y no considera la colisión de objetos arrastrados por la corriente. Se ha asumido, además, que la capacidad de sustento de las fundaciones no se ve afectada.

### 2.1 *Registro de daños estructurales debido a tsunami fuera de Chile.*

Los principales registros, previos al tsunami del sudeste asiático de 2004, corresponden a daños observados en Hawai y Japón, para los tsunamis de 1947 y 1960.

La evidencia de daño estructural muestra alturas de 2,4 a 3,7 m (sobre el nivel de terreno en los lugares edificados) y velocidades de 7,6 a 12,2 m/s. El análisis de los daños en elementos estructurales indica una presión debida al oleaje de 1,93 a 8,78 Tonf/m<sup>2</sup>, con un promedio de 3,42.

Las construcciones de hormigón armado resistieron la fuerza del agua con pocos daños en su armazón estructural. En Hawaii, dos edificios de hormigón armado resistieron de buena manera. De cualquier modo, los daños fueron particularmente severos donde el frente de los edificios era abierto, excepto aquellos con muros posteriores continuos. Edificios de hormigón no armado fueron seriamente dañados.

Parte considerable del daño se concentró en construcción liviana (madera). El tipo común de casa japonesa (1 o 2 pisos de madera) fue parcialmente dañada cuando el tsunami alcanzó una altura de 0,9 a 1,4 m sobre el terreno. Para niveles de 1,4 m, las casas no firmemente ancladas a sus fundaciones, comenzaron a flotar. Para más de 1,8 m de altura la planta baja colapsó y el piso superior se vino abajo. La conclusión anterior es aplicable solamente cuando la velocidad de la corriente es aproximadamente 9 m/s. Muchas casas fueron sacadas de sus fundaciones y mantenidas a flote; aquellas con estructura fuerte sufrieron daños en el entablado de los costados. Las casas de dos pisos presentaron destrucción del entablado o colapso del primer piso.

De los informes anteriores se puede concluir que el daño es severo en construcciones livianas, y leves o nulos en estructuras de hormigón armado.

## ***2.2 Daños ocasionados en Chile***

Varios sectores del litoral chileno han sufrido el efecto de tsunami destructores. Los eventos más destructivos, con grado 4 en la escala de Imamura, son aquellos ocurridos en los años 1730, 1868, 1877 y 1960. A partir de los registros de daños recopilados por Lizana (2000) se pueden extraer conclusiones como las siguientes:

- La mayoría de los eventos no cuentan con una descripción detallada del nivel de daños generados en las estructuras.
- Gran cantidad de embarcaciones es arrastrada tierra adentro. Algunas son varadas y otras son destruidas al golpearse con otros objetos.
- Muchas casas son destruidas, agregando escombros al oleaje. Pero en algunas oportunidades (oleaje débil) sólo sufren daños producto de la inundación.
- Se reporta la destrucción de edificios, instalaciones portuarias, iglesias, etc.
- Debido a que las densidades y tipologías de construcción han cambiado significativamente, no es posible extrapolar a la actualidad los daños generados por los tsunamis.

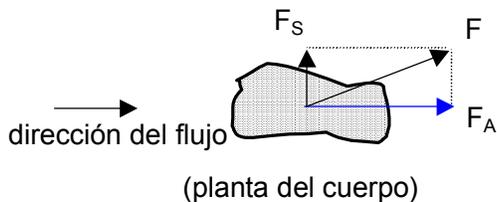
### 3 CARACTERIZACIÓN DE LA SOLICITACIÓN PARA EFECTOS DE DISEÑO

Los daños en las estructuras dependen de las características del frente del tsunami al llegar a la costa. Si se presenta con velocidades bajas los daños son consecuencia principalmente de fuerzas boyantes e hidrostáticas, para velocidades mayores los daños están asociados al impacto de escombros y a fuerzas de arrastre.

#### 3.1 Fuerza de arrastre sobre cuerpos

Siempre que hay movimiento relativo entre un cuerpo sólido y el fluido en el que está sumergido, el cuerpo experimenta una fuerza neta debida a la acción del fluido. La componente paralela es la fuerza de arrastre,  $F_A$ , y la componente perpendicular,  $F_s$ , la de sustentación (ver figura 3.1).

**Figura 3.1: Fuerza resultante sobre cuerpo en fluido en movimiento.**



Asumiendo que la velocidad del cuerpo es constante bajo la corriente, es decir, la aceleración es despreciable, podemos aproximar la fuerza de arrastre a:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho C_A A u^2 \quad (3.1)$$

donde  $C_A$  es el coeficiente de arrastre dependiente del cuerpo (tabla 3.1),  $u$  la velocidad del flujo y  $A$  el área de la sección transversal del cuerpo normal al flujo.

En ocasiones en que el flujo no sobrepasa la estructura ésta puede ser considerada como “infinitamente larga” ( $L/d = \infty$ ) para el cálculo de  $C_A$ . Para situaciones en que hay flujo bajo y/o sobre la estructura, se asume  $d = 2$  veces la altura mojada sobre la estructura, en la estimación de  $C_A$ .

#### 3.2 Factores determinantes en la intensidad del tsunami

##### § Magnitud y profundidad focal del terremoto.

El grado del tsunami,  $m$ , es directamente proporcional a la magnitud,  $M$ , del sismo; una de varias expresiones (que en general presentan gran dispersión) es:

$$m = 2,99M - 21,54 \quad (3.2)$$

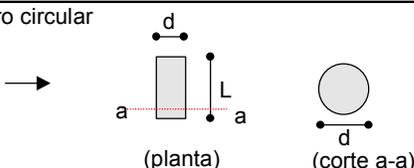
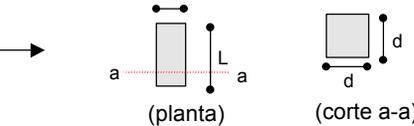
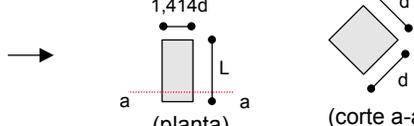
La expresión siguiente muestra que a menor profundidad focal,  $D$  (Km), menor es la magnitud,  $M$ , necesaria para generar un tsunami desastroso (Wiegel, 1970).

$$M \geq 0,008D + 7,75 \quad (3.3)$$

Kausel y Karzulovic' (Pilasi, 1978) acotaron la profundidad focal que es capaz de generar un tsunami, esto es:

$$D \leq 60 - 80 \text{ kms.} \quad (3.4)$$

**Tabla 3.1: Coeficientes de Arrastre ( $C_A$ ).**

OBJETO	$L/d$	$R_e^{(1)} = ud/v_0$	$C_A$
Cilindro circular 	1	$10^5$	0,63
	5	$10^5$	0,74
	$\infty$	$10^5$	1,20
	$\infty$	$>5 \cdot 10^5$	0,33
Cilindro cuadrado 	1	$>10^3$	1,05
	$\infty$	$>10^3$	2,05
	$\infty$	$10^4 - 10^5$	1,60
Placa rectangular plana (totalmente sumergida) 	1	$>10^3$	1,10
	5	$>10^3$	1,20
	20	$>10^3$	1,50
	$\infty$	$>10^3$	2,00

**Nota:** (1): Corresponde al número de Reynolds.

### Altura, área y velocidad de dislocación.

El incremento de estos factores genera un aumento en el grado del tsunami. La ecuación que sigue relaciona el diámetro mayor de la zona dislocada,  $D'$  (Km), con la magnitud,  $m$ , del tsunami (Monge, 1967).

$$D' = 75 * 2^m \quad (3.5)$$

### § Topografía del fondo marino.

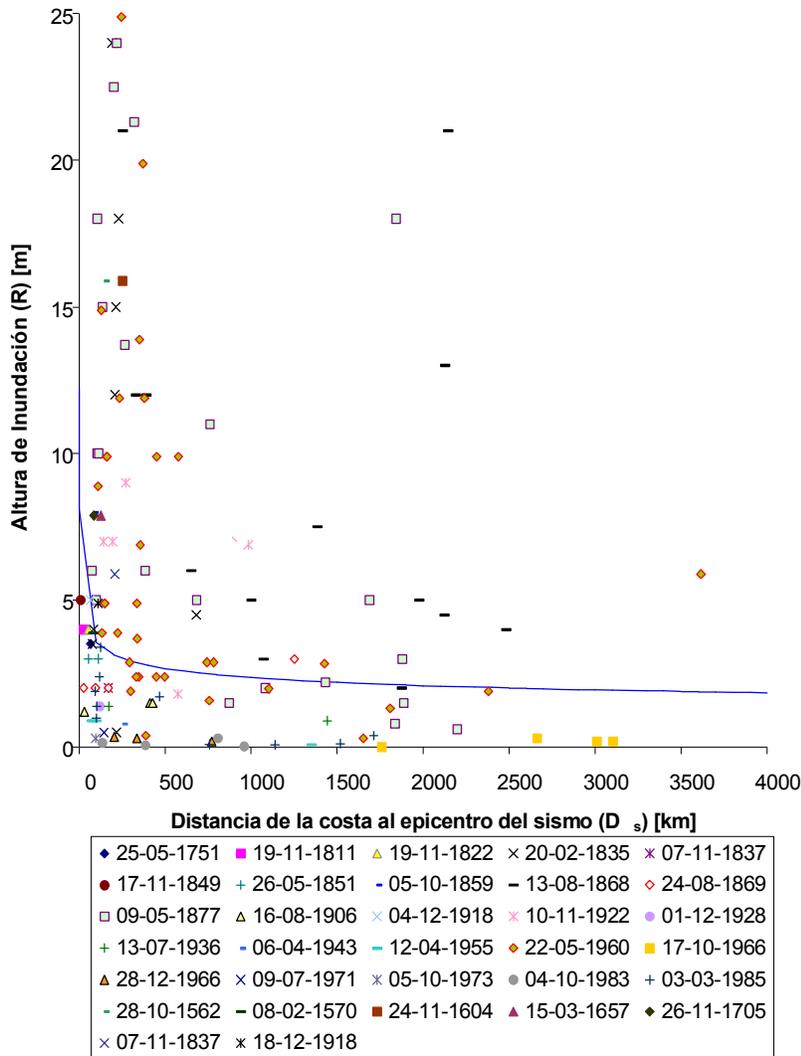
Tsuruta (Godoy, 1975) mostró que la atenuación de la altura de un tsunami es inversamente proporcional a la potencia  $2/3$  de la profundidad del mar. Lo anterior permite concluir que la disminución de la altura (disipación de energía) es mucho mayor en mares poco profundos que profundos.

### § Distancia de la costa al epicentro del terremoto.

Las figuras 3.2 y 3.3 permiten concluir que, salvo excepciones, las mayores alturas se registran cerca del epicentro del sismo. A pesar de lo anterior algunos tsunamis chilenos generaron daño en lugares alejados, debido a las condiciones locales de cada caso.

Si bien es posible distinguir una clara tendencia de menor altura de ola a mayor distancia del epicentro, existe una gran dispersión en el rango de distancias menores que 500 kms., explicada sin duda por las condiciones locales de cada lugar de registro.

Figura 3.2: Altura de Inundación en costas chilenas debido a tsunami generados por sismos chilenos y peruanos.



§ Configuración del litoral de llegada.

Yanaguchi (Godoy, 1975) encontró relaciones que permiten concluir que mayores pendientes del litoral de llegada generan mayores alturas de ola y de inundación.

La variación de la altura de ola, H, al interior de una bahía está condicionada por la forma de la bahía. En bahías en forma de V la altura (H) del tsunami aumenta considerablemente. Para bahías en U el efecto es menor.

Cuando una fuerza externa es aplicada a una superficie de agua confinada, por ejemplo una bahía, ésta empieza a oscilar en sus períodos naturales.

El período natural fundamental de una bahía ( $T_B$ ) puede estimarse aproximadamente por:

$$T_B = \frac{4l}{\sqrt{gd}} \quad (3.6)$$

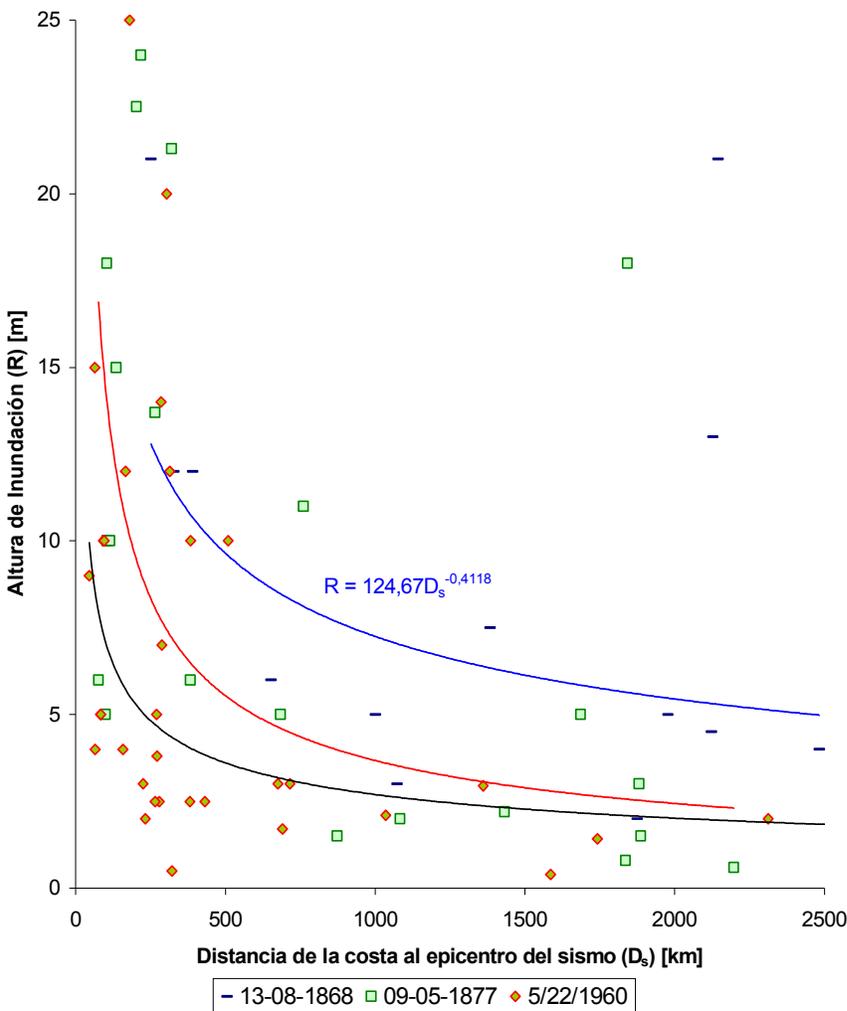
donde l es la longitud de la bahía, g la aceleración de gravedad y d la profundidad media de la bahía.

Observaciones de tsunami que han atacado Japón permiten concluir que para  $T_B > T$ , la altura de ola se atenúa al introducirse en la bahía, y que para  $T_B < T$  la altura de ola se incrementa.

§ Topografía tierra adentro.

La penetración del tsunami tierra adentro está influenciada por la pendiente del terreno, para pendientes fuertes la penetración es mucho menor que la producida en terrenos planos.

Figura 3.3: Altura de Inundación en costas chilenas debido a tsunamis generados por los sismos del 13/08/1868, 09/05/1877 y 22/05/1960.



## Resumen

Para efectos de diseño deberán considerarse las condiciones más desfavorables. En el caso de nuestro litoral esto significa suponer, para la mayoría de los casos, la ocurrencia del terremoto en la zona de falla frente al lugar en estudio, con una distancia al epicentro relativamente pequeña, siendo despreciable la atenuación del tsunami.

Se observa una gran dispersión de resultados en las expresiones expuestas anteriormente, debido a que éstas fueron obtenidas en condiciones particulares. Sin embargo, la utilización de estas relaciones se justifica en ausencia de más antecedentes.

### 3.3 Parámetros de diseño

#### Altura del oleaje

Con vista en lo anterior se proponen tres alternativas (en orden de importancia) para estimar la altura del oleaje:

- Utilizar los informes de la elaboración de cartas de inundación, para los principales puertos de Chile, realizadas por el SHOA.

- Recurrir a los registros históricos de tsunami sobre las costas de Chile (ver figura 3.2)
- Utilizar relaciones teóricas y/o empíricas, por ejemplo figura 3.3. Estas relaciones entregan únicamente un orden de magnitud.

### Velocidad de la corriente.

Para estimar la velocidad de la corriente es necesario considerar los siguientes antecedentes:

- Los informes sobre la elaboración de cartas de inundación del SHOA detallan velocidades máximas levemente superiores a los 7 m/s.
- Estudios del tsunami de 1960 en Hilo, Hawai, entregan velocidades del orden de 7,6 a 12,2 m/s.
- Expresión conservadora para evaluar la velocidad, dada por:

$$u = 2\sqrt{gh} \quad (3.7)$$

donde  $g$  es la aceleración de gravedad y  $h$  la altura de la corriente.

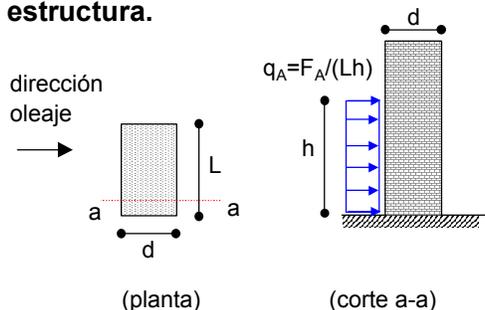
Es conveniente señalar que en ocasiones el tsunami se puede manifestar como una marea de gran altura y velocidad reducida, en estas situaciones la expresión (3.7) entrega velocidades muy grandes.

Debido a que el estudio está basado en antecedentes de costas chilenas, es razonable considerar los resultados de las simulaciones realizadas por el SHOA, es decir, velocidades menores o iguales a 7 m/s.

### 3.4 Acción de la sollicitación

Para este análisis es considerada una estructura sujeta a la acción de un oleaje sin transporte de escombros y orientada perpendicularmente al flujo de tal forma que el coeficiente de arrastre,  $C_A$ , sea máximo (ver tabla 3.1). No es analizado el efecto sobre el suelo de fundación. Debe recordarse que la fuerza hidrostática no contribuye al empuje neto sobre la estructura y que la fuerza boyante debe ser incluida en estructuras livianas donde el agua se introduce bajo ellas.

**Figura 3.4: Sollicitación ejercida sobre la estructura.**



Considerando una estructura ubicada como en la figura 4.1, la que es sometida a una presión de diseño (originada por el tsunami) de:

$$q_A = \frac{F_A}{A} \quad (3.8)$$

donde  $F_A$  es la fuerza de arrastre (ver ecuación 3.14) dada por:

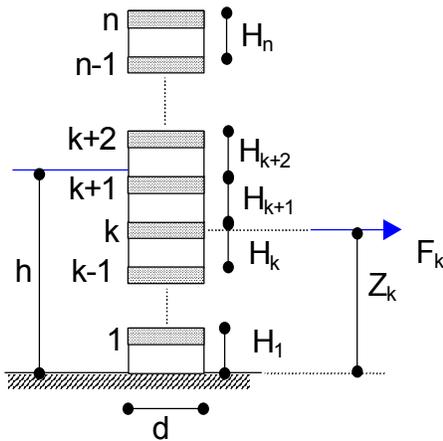
$$F_A = \frac{1}{2} \rho C_A A u^2 \quad (3.9)$$

donde  $\rho$  es la densidad del agua de mar,  $C_A$  el coeficiente de arrastre,  $u$  la velocidad del flujo y  $A$  el área de la sección transversal de la estructura, dada por:

$$A = hL$$

donde  $h$  es la altura del flujo y  $L$  es la dimensión mostrada en la figura 4.1.

**Figura 3.5: Fuerza aplicada en el nivel k.**



Introduciendo (4.2) en (4.1) se llega a:

$$q_A = \frac{1}{2} \rho C_A u^2 \quad (3.10)$$

Para una estructura de  $n$  pisos con diafragmas horizontales en cada nivel (infinitamente rígidos en su plano) se considera, para efectos de análisis, que la presión  $q_A$  actúa en cada nivel. La línea de aplicación de las fuerzas  $F_i$  coincide con el punto medio del lado que enfrenta a la acción del tsunami.

Los esfuerzos generados por la aplicación de la sollicitación definida anteriormente deben ser mayorados por un factor de amplificación dinámica (FAD), que considera la evolución temporal en la aplicación de las cargas. En lo siguiente se ha considerado un  $FAD = 1,2$ .

#### 4 APLICACION A EDIFICIO TIPO

Se analiza el caso de un edificio de hormigón armado de 10 pisos (altura entre piso de 2,6 m), de uso habitacional y con igual planta (ver figura 5.1) en todos los niveles. Se considera que esta tipología estructural representa, con las simplificaciones del caso, a un gran número de edificios construidos en el litoral chileno.

Para la obtención de los esfuerzos generados en los diferentes niveles y en sus elementos resistentes (vigas, columnas y muros), producto de las diferentes sollicitaciones (peso propio, sobrecarga, sismo y tsunami), fue realizada una modelación y análisis estructural del edificio. Se utilizó el programa ETABS.

Con el fin de establecer si la consideración del tsunami resulta significativa en la etapa de diseño, son comparados los esfuerzos generados por el tsunami con los del sismo, ya que éstos últimos determinan las condiciones mínimas de resistencia y rigidez de la estructura según la normativa vigente.

#### 4.1 Cálculo sísmico de la estructura

El análisis sísmico fue desarrollado por el método de análisis modal espectral, según las condiciones establecidas en la norma NCh 433 of 96. Se asumió Zona Sísmica 3 ( $A_0=0.4g$ ) y Suelo Tipo II.

Figura 4.1: Planta del edificio sujeta a las cargas originadas por un tsunami.

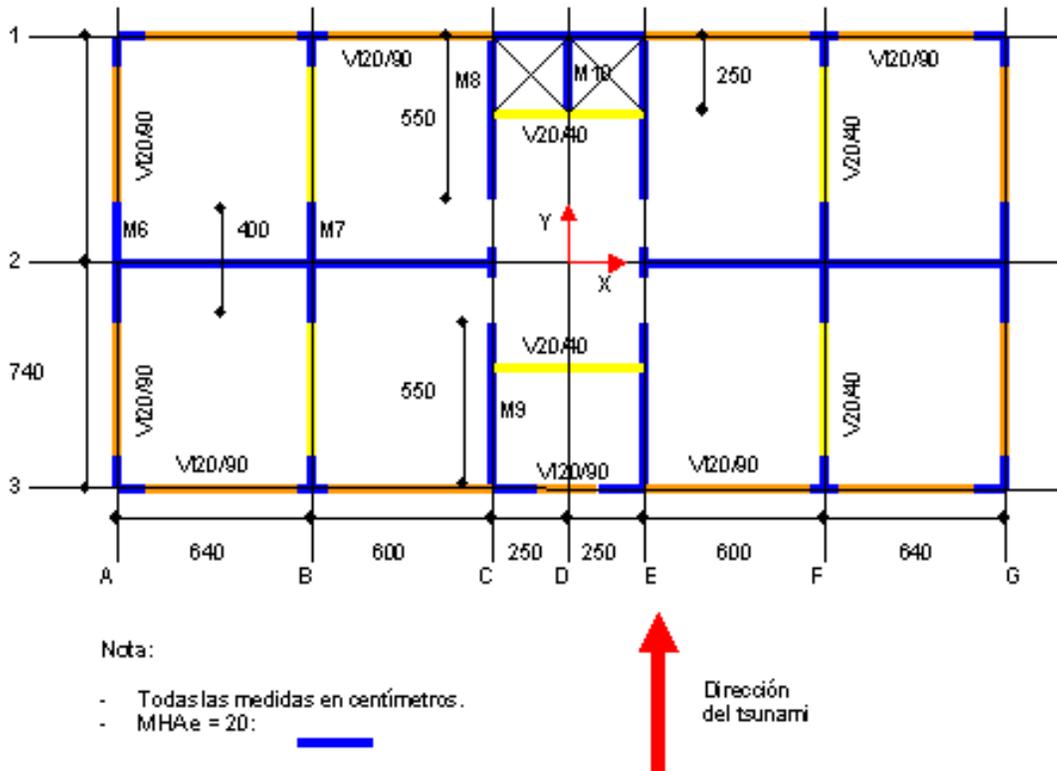
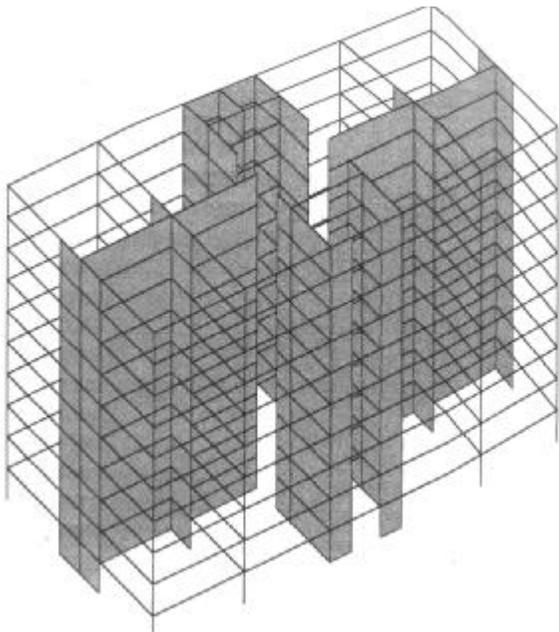


Figura 4.2: Modelo del edificio.

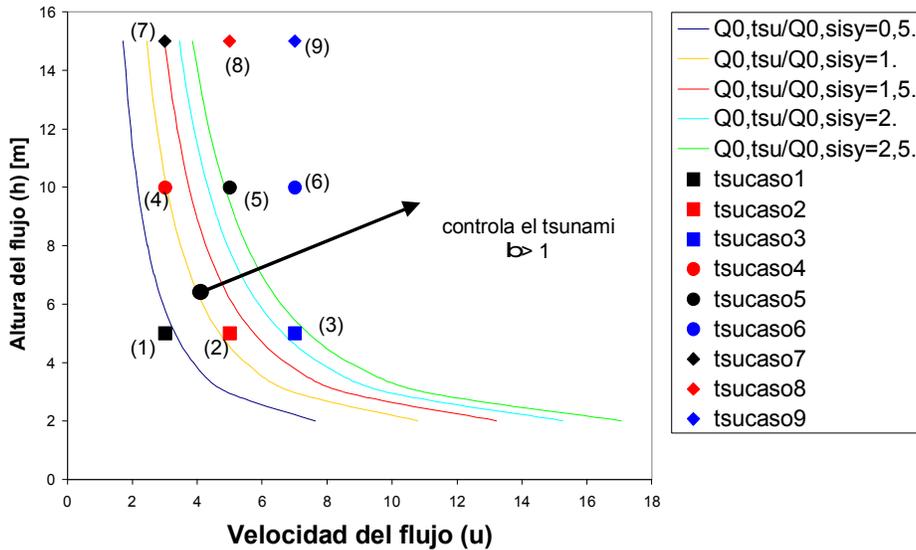


#### 4.2 Esfuerzos generados en la estructura.

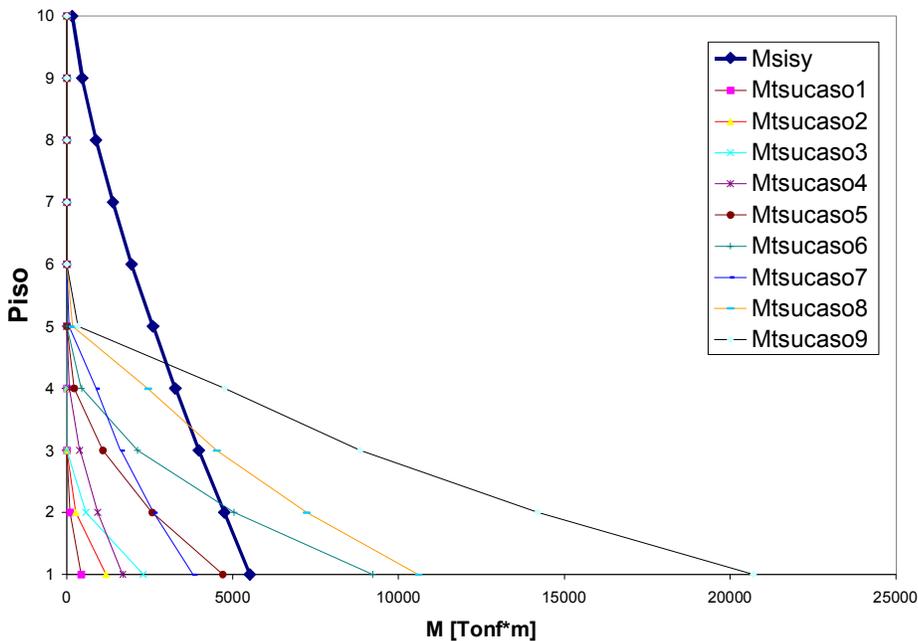
La figura 4.3 permite visualizar, para el edificio en estudio, las combinaciones de  $h$  y  $u$  que resultan relevantes con el fin de determinar el efecto del tsunami. Lo anterior suponiendo que en el diseño ambas sollicitaciones son consideradas con un mismo factor de mayoración.

Las figuras 4.4 y 4.5 muestran la variación del esfuerzo de corte y momento volcante para todos los

**Figura 4.3: Razón entre cortes basales producidos por el tsunami y el sismo Y.**



**Figura 4.4 Momento volcante por pisos.**



Nota.

En la definición de las combinaciones de carga se ha considerado simplifícadamente un factor de mayoración para el tsunami igual a 1. El factor de mayoración dependerá principalmente de la probabilidad de ocurrencia del evento con las alturas y velocidades de corriente supuestas en cada caso y

niveles y los 9 casos expuestos en la figura 4.3, además se entregan los esfuerzos generados por el sismo en la dirección Y (la misma dirección del tsunami).

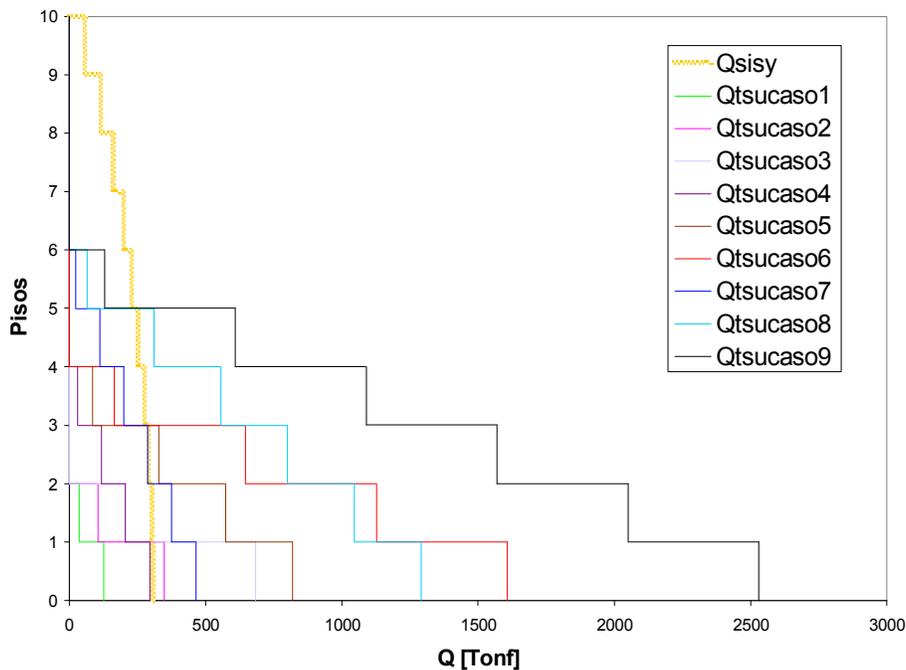
De acuerdo a lo presentado en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 resulta válido descartar como casos de interés el número 1 y 4, ya que los esfuerzos asociados son cubiertos por el diseño sísmico.

§ Esfuerzos en elementos

Para graficar el comportamiento de los muros de edificio, se presentan los diagramas de interacción y de esfuerzo de corte del muro M8, del primer piso. Este muro forma parte de la caja de ascensores del edificio y está orientado paralelo al eje Y, dirección en que actúa el tsunami.

Para el muro mencionado se dispone la armadura necesaria para resistir los esfuerzos de compresión (tracción), flexión y corte.

**Figura 4.5 Esfuerzo de corte por pisos.**



de la vida útil de la estructura, debiéndose determinar específicamente para cada estructura y su lugar de ubicación.

### 4.3 *Diseño de elementos.*

Las siguientes figuras ilustran el proceso de dimensionamiento estructural de los principales muros del edificio, sometidos a flexocompresión y corte.

### § Diseño por flexocompresión

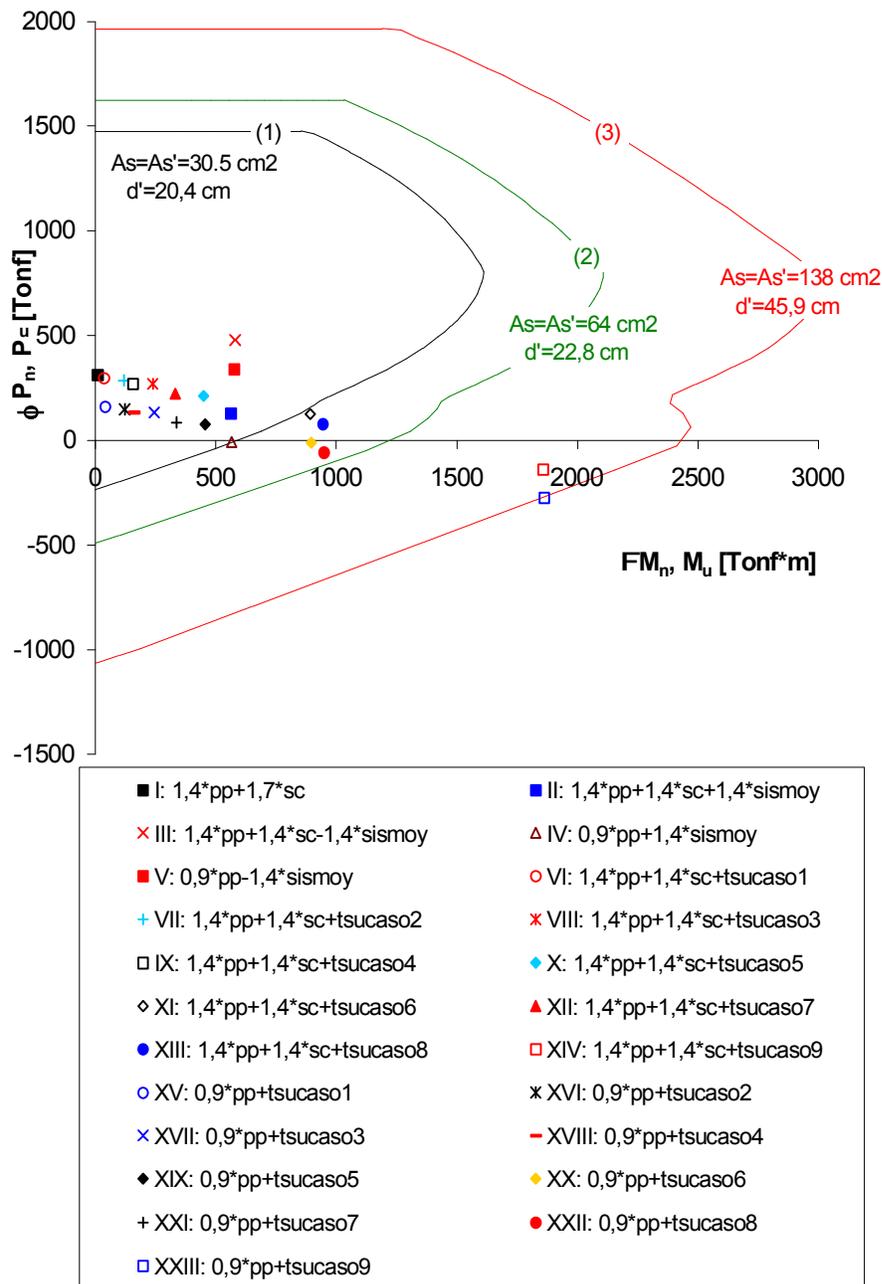
Se determinaron los diagramas de interacción P-M para los muros M6, M7, M8, M9 y M10, en los primeros pisos. Se presenta a modo de ejemplo el diagrama para el muro M8 (figura 4.6).

Las curvas de interacción se trazaron con los siguientes criterios:

- Ø La curva (1) (color negro) satisface las demandas generadas por el sismo en la dirección Y.
- Ø La curva (2) (color verde) cubre las necesidades generadas por el tsunami caso 8 (h=15m y u=5 m/s).
- Ø La curva (3) (color rojo) cubre las necesidades ocasionadas por el tsunami caso 9 (h=15m y u=7 m/s).
- Ø Armadura mínima:  $A_s = A_s' = 2 \phi 18$ .

En los primeros pisos de todos los muros analizados se concluye que la armadura requerida por el tsunami más desfavorable (curva 3) es mucho mayor que la requerida por el sismo. En los segundos pisos la distancia entre ambas curvas decrece apreciablemente. Para el tercer piso sólo el muro 8 requiere armadura mayor que la sísmica y, para los pisos siguientes, la demanda generada por el tsunami (caso 9) es cubierta por la armadura del sismo (curva 1). La influencia del tsunami no resulta significativa, en la cantidad de armaduras requeridas, para el resto de los casos de tsunami considerados (casos 1 al 8).

**Figura 4.6 Combinaciones de carga y curvas de interacción para el muro 8 del primer piso.**



- Diseño por corte.

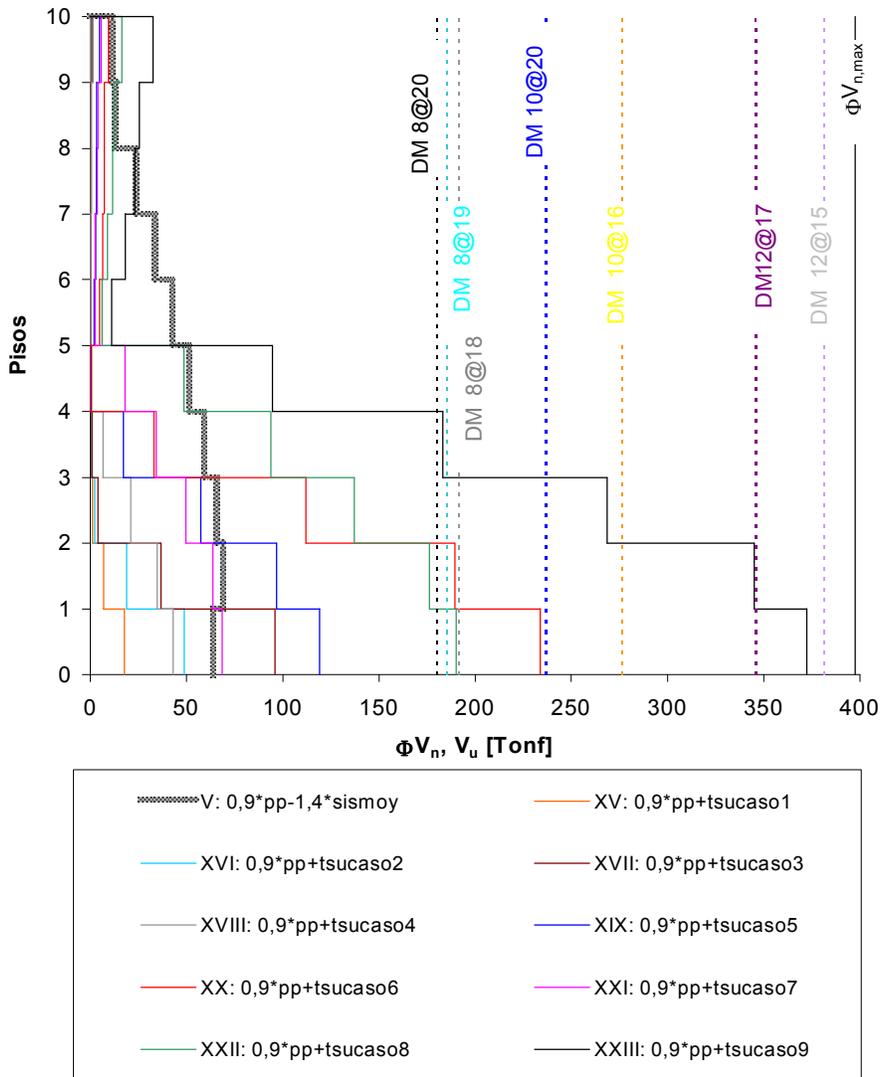
Las figura 4.7 muestra el diagrama de corte para las diferentes combinaciones de carga. Se ha incorporado en el gráfico la resistencia al corte necesarias para cubrir los esfuerzos generados y la capacidad nominal máxima ( $\phi V_{n,max}$ ).

Se observa que una armadura de corte consistente en DM  $\phi$  8 @ 20 (armadura mínima) satisface los requerimientos del diseño sísmico, sin embargo, resulta insuficiente para cubrir la demanda generada por el tsunami más desfavorable (caso 9) en los primeros pisos.

Para los muros más solicitados (8 y 9) por el caso 9 se requiere a nivel de primer piso una armadura consistente en DM  $\phi$  12 @ 15, bastante superior a la requerida por sismo, pero menor que el máximo especificado por la norma. Para los pisos siguientes disminuye significativamente la armadura requerida, llegándose a la armadura mínima en el cuarto piso.

Para el resto de los casos de tsunami considerados, la demanda disminuye significativamente, requiriéndose aumentar el refuerzo mínimo en algunos muros y sólo en el primer piso.

Figura 4.7: Combinaciones de carga y capacidad nominal al corte del muro 8.



- Flexión del muro (fuera del plano)

Los resultados del diseño muestran la necesidad de proporcionar, para la mayoría de los casos de tsunami, armaduras mayores a la mínima ( $\phi 8 @ 20$ ) en todos los muros del primer piso. La armadura adicional requerida depende fuertemente de las condiciones ( $u, h$ ) del tsunami de diseño.

## 5 CONCLUSIONES

Para caracterizar la sollicitación hidrodinámica que impone el tsunami sobre una edificación se deben estimar la altura ( $h$ ) y velocidad ( $u$ ) de la corriente. Debido a la gran cantidad de factores que influyen en el conformación del tsunami al arribar a la costa, resulta extremadamente complejo establecer una formulación analítica que permita estimar valores de  $h$  y  $u$ , con una precisión aceptable para efectos de diseño. Considerando lo anterior, se proponen alternativas para la estimación, basadas principalmente en simulaciones numéricas y en valores observados.

Se analiza un edificio de hormigón armado, de 10 pisos, sometido a distintas intensidades de tsunami, intensidad caracterizada por combinaciones de altura ( $h$ ) y velocidad de la corriente ( $u$ ). Se comparan los

esfuerzos sobre el edificio apreciándose que, en términos globales, la sollicitación de tsunami puede exceder de manera importante los esfuerzos sísmicos que establece la normativa.

De los esfuerzos generados en los muros de la estructura paralelos al flujo, para los tsunami más severos, se puede concluir la necesidad de incorporar armadura adicional a la sísmica para resistir los esfuerzos de flexo-compresión y corte. Este requerimiento adicional se concentra fundamentalmente en los dos primeros pisos, ya que, para pisos superiores disminuye considerablemente.

Del análisis de los esfuerzos generados en los muros perpendiculares al flujo se puede concluir que se debe incorporar armadura extra para resistir los esfuerzos de flexión. Este requerimiento anterior es máximo en el primer piso y para pisos superiores varía en proporción a la altura de diseño considerada.

Las conclusiones anteriores, referentes a esfuerzos en muros, resultan estrictamente válidas para el edificio analizado y para las características del tsunami consideradas. Sin embargo, se estima que los resultados pueden ser extrapolados, en términos generales, al grueso de los edificios costeros en Chile.

## **REFERENCIAS**

Monge, J., (1993) “Estudio de riesgo de tsunami en costas chilenas”, 6as. Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile, vol. 2, pp 3-22.

Lizana, J., (2000) “Evaluación del efecto de tsunami sobre edificios”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, U. de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Profesor guía: A. Verdugo.

Wiegel, R.L., (1970) “Earthquake Engineering”. Prentice Hall. Chapter 11 Tsunamis, pp 233-306.

Pilasi, J., (1978), “Riesgo de tsunami en bahía de Quintero”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Profesor guía: A. Salinas.

Monge, J. (1967) “Tsunami”, Apuntes de una conferencia dictada en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Godoy, H., (1975) “Metodología para la evaluación del riesgo de tsunami”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Profesor guía: J. Monge.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, “Elaboración Carta de Inundación por Tsunami para las ciudades de Arica (1997), Iquique (1998), Antofagasta (1997), Mejillones (1998), Tocopilla (1999), Caldera (1999) mediante simulación numérica”.