MAREMOTOS

Guillermo Barros González
Vicealmirante

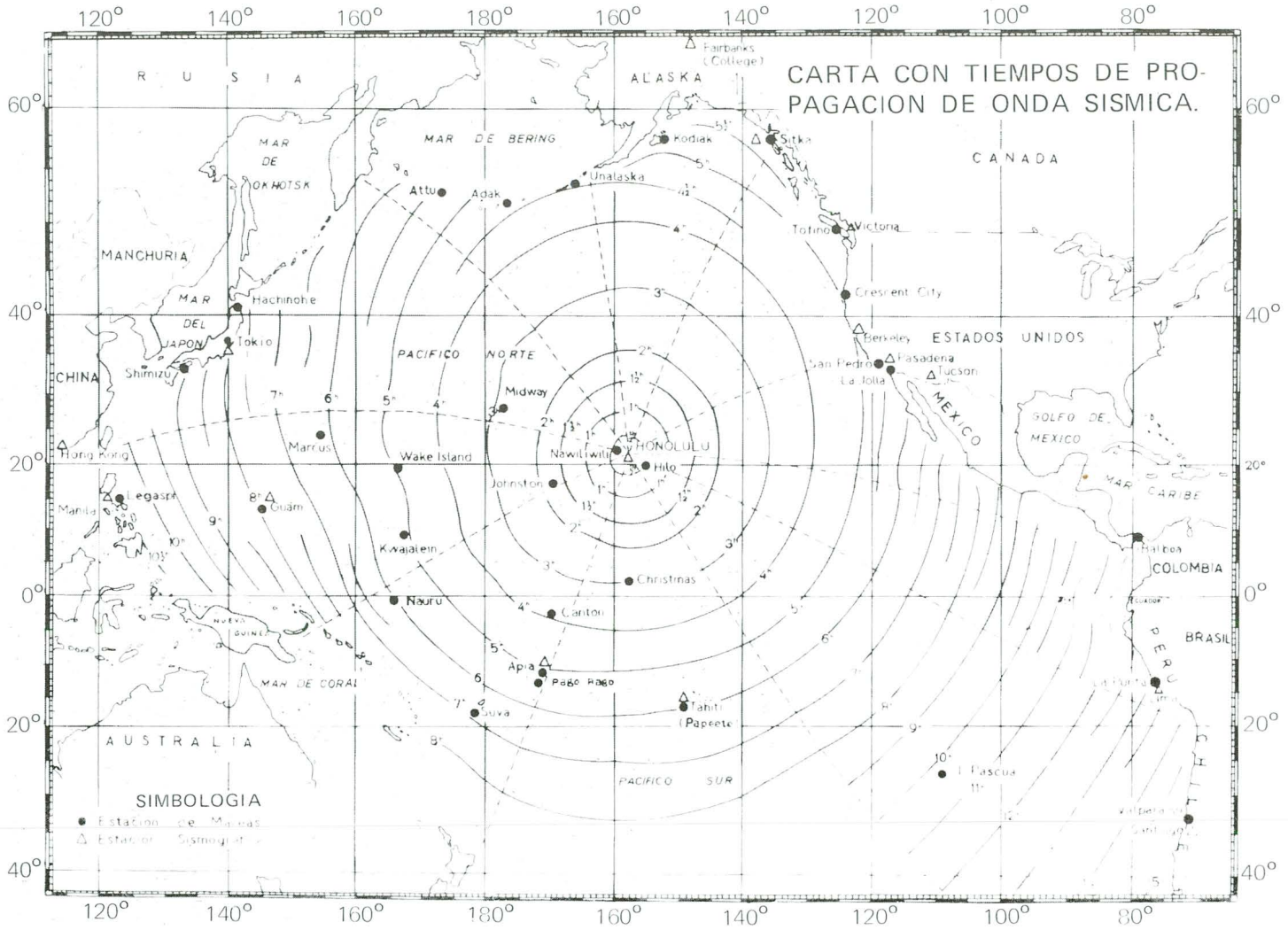
INTRODUCCION

Ampliamente conocido es el hecho de que la cuenca del Océano Pacífico constituye una notable zona de actividad sísmica, y cuando se disloca la corteza terrestre en las profundidades submarinas se originan en la superficie del mar ondas sísmicas de mareas conocidas comúnmente con el nombre de *tsunami*, o maremoto.

Estas ondas, que recorren el Pacífico con gran velocidad, de acuerdo a su magnitud pueden causar grandes daños materiales y pérdida de vidas en las costas continentales e islas oceánicas.

Desde enero de 1959, Chile es miembro permanente del *Sistema Internacional de Alarma de Tsunamis del Pacífico,* a través del Instituto Hidrográfico de la Armada (I.H.A.), organismo que mantiene contacto permanente con la sede central de dicho sistema en Honolulu, Hawaii, constituyendo el organismo oficial en nuestro país para originar mensajes de alerta relacionados con mareas anormales y también para evaluar los informes recibidos de Honolulu, como consecuencia de tsunamis generados en el Océano Pacífico.

Con fecha 30 de julio de 1964, el I.H.A. puso en vigencia el *Sistema Nacional de Alarma de Maremotos,* el que vino a llenar una imperiosa necesidad nacional al permitir difundir las informaciones de mareas anormales a todos los puntos del extenso litoral chileno, por medio de las Zonas Navales, Gobernaciones Marítimas y Capitanías de Puerto; de tal manera que estas autoridades pueden disponer oportunamente las medidas tendientes a evitar pérdida de vidas y daños materiales. El Decreto Supremo N° 26, del 11 de enero de 1966, designó al I.H.A. como representante oficial de Chile ante el Sistema Internacional de Alarma de Tsunamis del Pacífico y creó el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos, dependiente de dicho instituto.


CARTA CON TIEMPOS DE PROPAGACION DE ONDA SISMICA.
120° 140° 160° 180° 160° 140° 120° 100° 80°
60°
40°
20°
0°
RUSIA
ALASKA
CANADA
ESTADOS UNIDOS
MEXICO
GOLFO DE MEXICO
MAR CARIBE
COLOMBIA
BRASIL
PERU
CHILE
AUSTRALIA
MANCHURIA
CHINA
MAR DE BERING
MAR DE OKHOTSK
MAR DEL JAPON
PACIFICO NORTE
PACIFICO SUR
MAR DE CORAL
NUEVA GUINEA
Fairbanks (College)
Kodiak
Sitka
Unalaska
Attu
Adak
Tofino
Victoria
Crescent City
Berkeley
Pasadena
Tucson
San Pedro
La Jolla
Hachinohe
Tokio
Shimizu
Midway
Honolulu
Nawiliwili
Hilo
Johnston
Wake Island
Marcus
Hong Kong
Manila
Legaspi
Guam
Kwajalein
Nauru
Christmas
Canton
Apia
Pago Pago
Suva
Tahiti (Papeete)
Balboa
I. Pascua
SIMBOLOGIA
Estación de Mareas
Estación Sismológica

No es difícil comprender la importancia y trascendencia que tiene el estudio y conocimiento de estos fenómenos, como también la operación de los sistemas de alerta, si consideramos la condición de Chile como país esencialmente marítimo.

Habrá que considerar, también, los numerosos maremotos que han llegado o se han generado en nuestras costas, y aunque muchos tsunamis no han tenido consecuencias graves ello no significa que nuestras costas se encuentren a salvo de estos grandes fenómenos marinos.

Basta recordar el maremoto del 13 de agosto de 1868, que devastó Arica, el del 11 de noviembre de 1922, que hizo lo propio en Coquimbo, y el del 22 de mayo de 1960, que devastó Queule, Puerto Saavedra, Corral, Caleta Mansa y Ancud; todos ellos fueron generados frente a las costas de Chile y sus efectos se propagaron a todo el ámbito del Océano Pacífico.

Podemos, entonces, definir el maremoto como una serie de ondas oceánicas originadas por un sismo submarino, advirtiendo que no todos los sismos generan tsunamis, pero sí, todos los maremotos conocidos han sido siempre originados por sismos submarinos.

Finalmente, señalamos que el propósito de este artículo es llamar la atención de los efectos que puede tener un maremoto en nuestras costas, y sobre el comportamiento tanto de las aguas en puertos y bahías como de las estructuras portuarias, sugiriendo algunas ideas tendientes a encausar un orden lógico en las medidas a adoptarse, en resguardo de nuestro litoral.

DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS

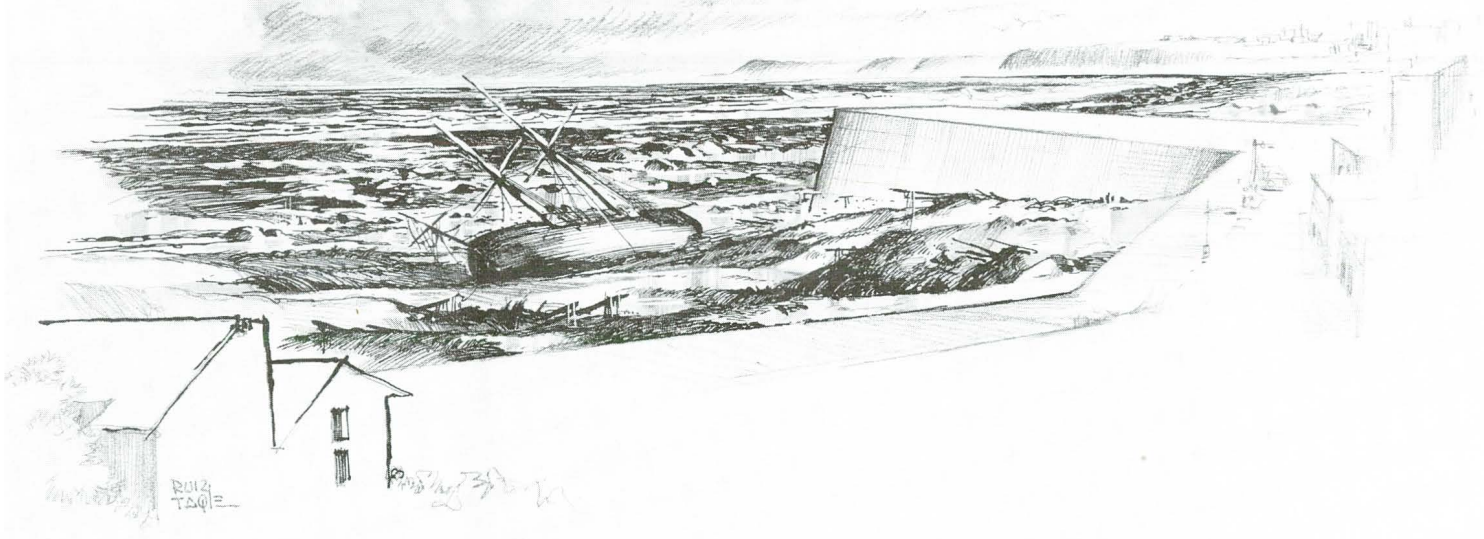
Este fenómeno, cuya similitud podríamos compararla con las ondas que produce una piedra al caer en el agua, consiste en una serie de tres a diez ondas que se propagan a través del océano con una velocidad entre 300 a 500 millas náuticas por hora, la que varía en proporción directa con la profundidad del mar.

Su amplitud es de unos pocos decímetros mientras las ondas se desplazan a grandes profundidades, donde prácticamente el fenómeno no es advertido por los barcos en navegación; sin embargo, el efecto combinado al disminuir profundidad, junto a las características de la costa en su cercanía, hace que la amplitud de las ondas pueda llegar a varios metros de altura. (En tsunamis de extraordinaria violencia se ha observado olas de hasta veinte y más metros de altura).

El período de las ondas sísmicas de un maremoto varía entre diez a veinte minutos, siendo la segunda de las ondas la más violenta.

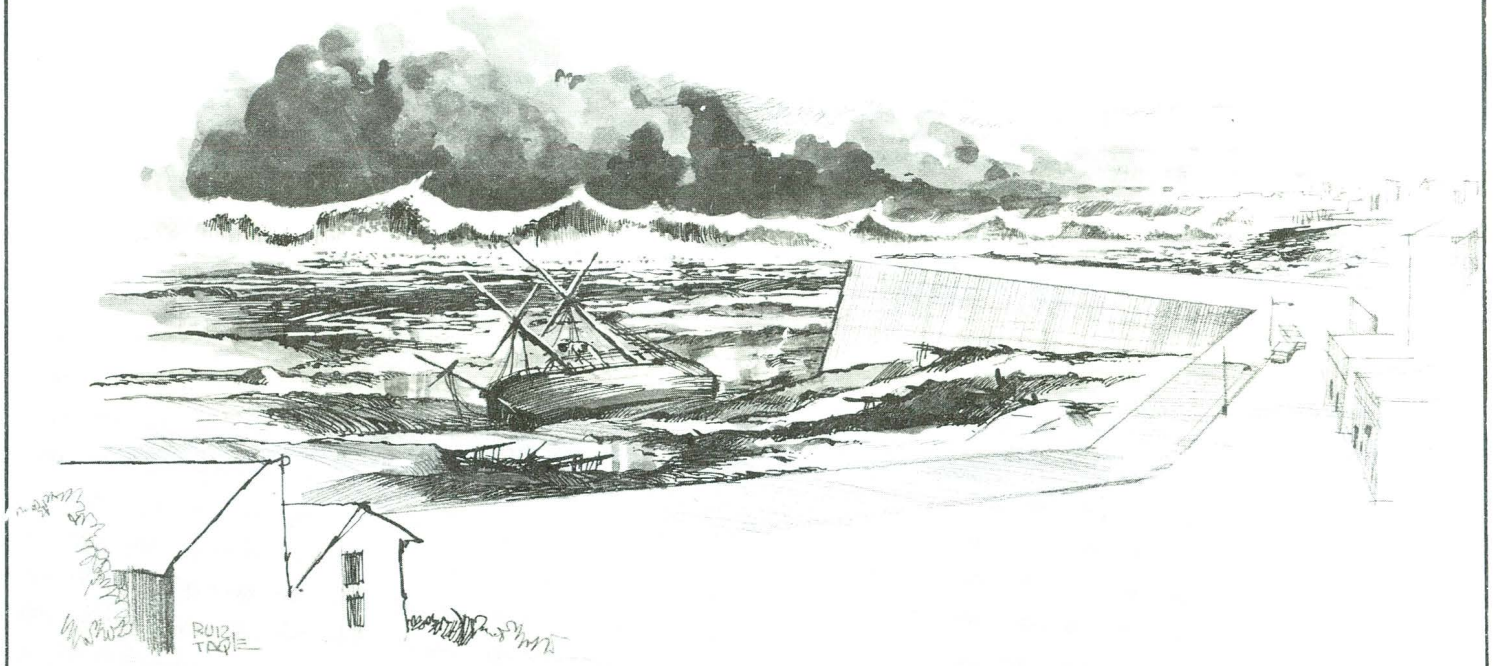
Los tsunamis de grandes caracteres suelen ofrecer cuadros similares en razón a semejanzas en las configuraciones hidrográficas de puertos y bahías, cuyos efectos los podemos señalar en las siguientes etapas:

a. Recogimiento de las aguas, dejando al descubierto grandes extensiones del fondo. Si la bahía es muy profunda, es posible que esta etapa no se manifieste o lo haga sólo en forma leve.



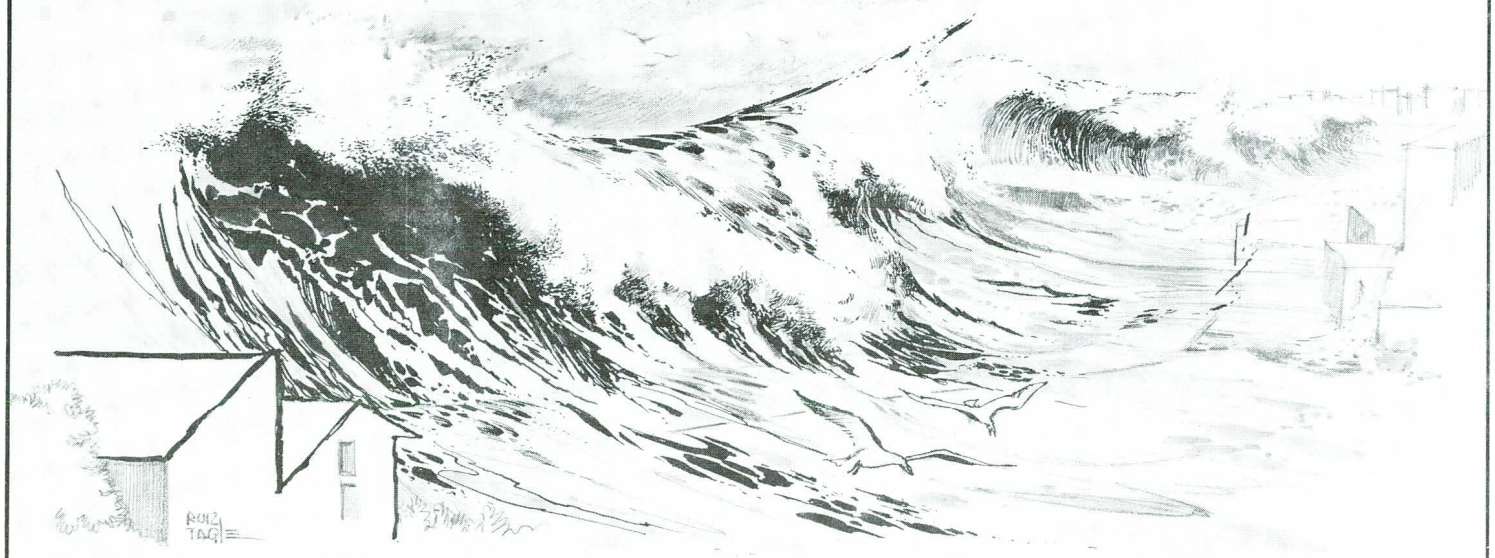
RECOGIMIENTO DE LAS AGUAS

b. Formación de un frente de mar a cierta distancia de la costa, que empieza a acercarse más o menos rápido según sean las características de la bahía. En bahías de grandes profundidades, normalmente esta etapa no se manifiesta.



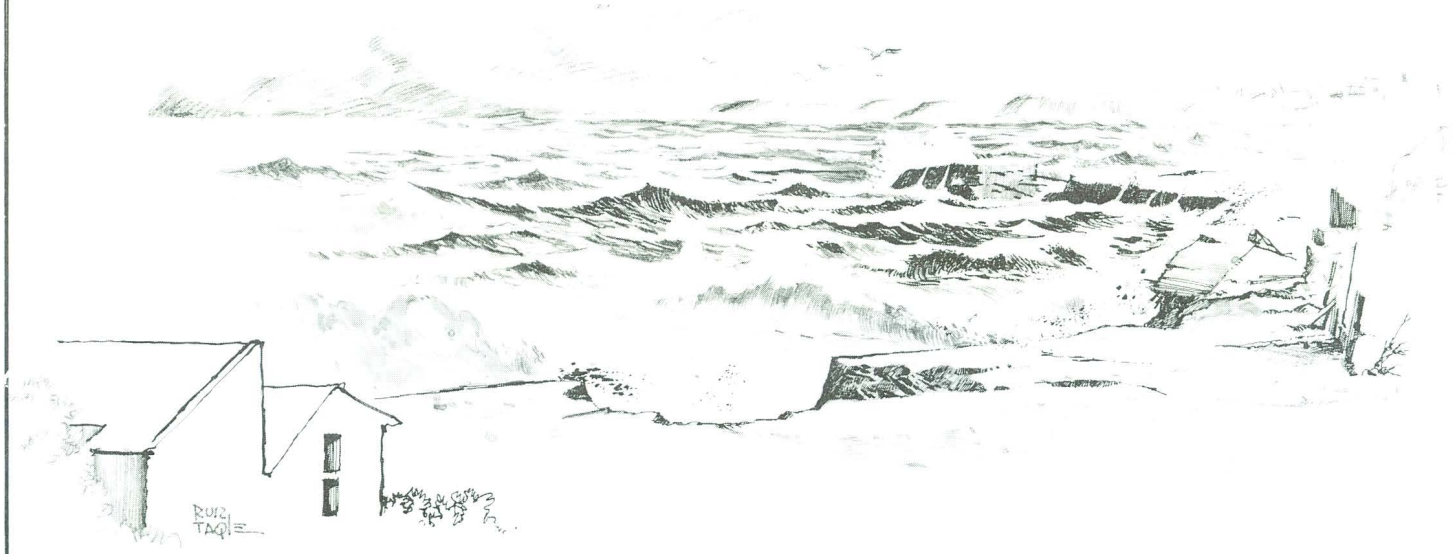
FORMACION DE UN FRENTE DE MAR

c. El frente de mar nombrado irrumpe dentro de la bahía, causando grandes daños a su paso. Esta ola rompedora no se forma en aquellas bahías de profundidades grandes; sólo se manifiesta un ascenso anormal de las aguas, produciendo daños por el rebalse del agua de mar sobre las defensas costaneras.



EL FRENTE DE MAR IRRUMPE EN LA BAHIA

d. Se inicia, luego, el recogimiento de las aguas, que terminan de destruir lo que no destruyó la primera ola. Se forman fuertes correntadas que arrastran hacia el mar las estructuras livianas, fenómeno que también afecta a las bahías de mayor profundidad. Este efecto es el más desastroso para todo tipo de estructuras portuarias, ya que da origen a presiones negativas que los muros y parapetos no siempre están en condiciones de soportar.



SEGUNDO RECOGIMIENTO DE LAS AGUAS

e. El fenómeno descrito se repite dos, tres y más veces, siendo el segundo tren de olas el de mayor magnitud, completándose así el cuadro de destrucción antes señalado.

f. La primera serie de ondas es seguida, generalmente, de una segunda, varias horas después, como consecuencia de la reflexión del tren de ondas sísmicas en las costas vecinas o distantes.

g. Después de un tsunami se producen fuertes oleajes, que pueden durar varios días.

COMPORTAMIENTO DE LAS AGUAS EN PUERTOS Y BAHIAS

En primer lugar, debemos mencionar la necesidad de estudiar en detalle el comportamiento de las aguas, cobrando importancia los períodos naturales de resonancia, trayectorias probables de refracción y reflexión de las ondas, velocidades que alcanzarían las olas en diferentes partes de la bahía, etc.

Por ejemplo, se afirma que de la comparación del período de oscilación de un tsunami con la resonancia natural de la bahía considerada, puede determinarse la tendencia a disminuir o aumentar la ola generada que avanza hacia la costa.

Los estudios indicados son de una complejidad tal que deben ser abordados mediante el esfuerzo conjunto de los organismos técnicos que tengan competencia sobre estos aspectos.

Completados los estudios anteriores, será necesario determinar las características de inundación de los diferentes puertos y bahías, señalando aquellas zonas que siempre se inundarán, como también aquéllas que pueden considerarse relativamente seguras en el caso de un maremoto mayor.

Las probables áreas de inundación permitirán a las autoridades planificar su acción en cuanto a la población costera, en caso de que haya necesidad de evacuar masivamente la zona ante un tsunami de grandes proporciones.

También, estos estudios y sus conclusiones irán en ayuda de una reglamentación conveniente en todo lo que se relacione con la construcción de estructuras o caseríos a las orillas de mares y ríos. Esta observación alcanza también a las industrias, obras portuarias, etc. Estos estudios en el campo de la ingeniería de puertos nos permiten ser prudentemente optimistas, en cuanto los efectos de un tsunami puedan ser atenuados mediante una planificación adecuada.

COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS ESTRUCTURAS PORTUARIAS

Señalamos a continuación el probable comportamiento de algunas estructuras frente a la acción de grandes tsunamis; apreciaciones que, por supuesto, son de carácter general y que tienen por objetivo hacer más evidente la necesidad de adoptar medidas adicionales de protección.

Puentes

Por lo general, en nuestro país estas estructuras se encuentran en el curso medio de algunos ríos, y para los efectos de esta exposición consideraremos solamente aquéllos que se

encuentran en lugares donde las aguas experimentan los efectos de la marea.

Las causales más comunes en que un tsunami mayor puede afectar a los puentes son:

- Cuando la ola del tsunami remonta el río. Según sea su altura, puede alcanzar niveles suficientemente elevados como para levantar el entablado de un puente de madera o producir graves destrozos en puentes de concreto.
- Al retroceder las aguas se produce una severa acción de socavamiento en las fundaciones de los pilotes. Si alguno de ellos cede, provocará la ruina de toda la estructura.
- La velocidad de retroceso de las aguas, unida a la corriente propia del río, suelen arrastrar embarcaciones menores, troncos, restos de casas y otros escombros, todos los cuales provocarán violentos impactos contra los pilotes, contribuyendo a la destrucción parcial o total de la estructura.

Muros que sostienen carreteras

Cuando estos terraplenes siguen el contorno de la bahía, a poca elevación con respecto al nivel del mar, pueden fallar por los siguientes motivos:

1. Elevación del nivel del agua hasta sobrepasar la coronación del muro.
2. Al producirse la vaciante de las aguas, la mampostería o revestimiento del muro puede ceder al socavarse las fundaciones, y también por el aumento de la presión de la tierra contra el muro al aflojarse la estructura misma del suelo. La velocidad de retroceso de las aguas ejerce una acción muy violenta de socavamiento.

Molos de abrigo

Nos referiremos al tipo de estructura cuyo parapeto que enfrenta al mar está protegido por un revestimiento de concreto simple o de albañilería de piedra, mientras el parapeto que enfrenta a tierra se encuentra sin protección.

La falla de estas estructuras varía en conformidad al nivel alcanzado por las aguas, al tiempo que dura la inundación y a la altura del molo.

Por lo anterior, cuando se planifica medidas de protección contra tsunamis habrá que considerar las condiciones topográficas de las áreas adyacentes a dichas estructuras.

Malecones

Si el nivel de las aguas sobrepasa la coronación del muro o parapeto del malecón, se producirá una acción de socavamiento en el terreno ubicado inmediatamente detrás, lo que puede determinar la destrucción tanto del muro protector como de la estructura misma.

En los malecones situados en la desembocadura de ríos no basta con que el muro tenga altura suficiente para detener la inundación, sino que además el lado que enfrenta el río debe estar lo suficientemente protegido, para evitar la acción del tsunami en caso que remonte el río y ataque la estructura por el lado no protegido.

Muelles

La causal de destrucción de los muelles es similar a la indicada en el caso de los malecones.

Durante la vaciante, la acción de socavamiento del agua que cae como una cascada se produce desde la coronación del muro al mar. Dicho efecto de succión determina, en la mayoría de los casos, el volcamiento del muro.

MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA TSUNAMIS

Entre las ideas destinadas a obtener un cierto grado de protección, que han sido llevadas a la práctica por algunos países del ámbito del Pacífico que con frecuencia sufren los efectos de severos tsunamis, podemos destacar las siguientes:

a. Organización de un Sistema de Alarma Tsumami,
b. Exigencias de medidas especiales en la construcción de casas e instalación de industrias junto al mar, como asimismo en el desarrollo de obras portuarias,
c. Preparación de planes de seguridad, y
d. Intensificar la investigación tsunami.

A continuación analizaremos separadamente cada uno de los puntos mencionados, los que prácticamente forman las conclusiones del presente trabajo.

a. Organización de un Sistema de Alarma Tsunami

Para que un sistema de esta naturaleza sea eficaz debe comprender, por lo menos, las siguientes actividades principales:

(1) Predicción tsunami
(2) Comunicaciones del sistema
(3) Medidas de evacuación y otras.

(1) Predicción tsunami

Un servicio de esta índole debe contar con dos principales fuentes informativas: sísmica y mareográfica.

La información sísmica permite conocer con cierto grado de rapidez los siguientes datos:

(a) Intensidad del sismo (lo suficiente como para producir un tsunami),
(b) Epicentro del sismo (en tierra, a cierta distancia de la costa o a gran distancia de ella).

Por su parte, la información mareográfica permite confirmar, con cierta antelación, la intensidad que tendrá el fenómeno en otros puntos más o menos distantes del epicentro. Esta información también aporta datos muy útiles para la planificación de obras portuarias, etc.

De esta manera, el centro operativo estará en condiciones de evaluar con rapidez y exactitud las informaciones que se reciben durante la emergencia tsunami.

En Chile, este centro operativo (el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos) recibe información sísmica desde el Instituto de Geofísica de la Universidad de Chile, Santiago, y del Sistema Internacional de Alarma de Tsunamis con sede en Honolulu, Hawaii. La información mareográfica se recibe de la red de mareógrafos que opera el I.H.A. a través de doce estaciones ubicadas a lo largo de nuestro litoral.

Mayores informaciones sobre la organización y operación del Sistema

Nacional, antes nombrado, pueden encontrarse en la Publicación N° 3.014 del I.H.A.: "Instrucciones Generales sobre el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos".

(2) Comunicaciones del sistema

Las comunicaciones entre las fuentes informativas y el centro operativo deben estar aseguradas, por lo menos, con dos servicios independientes el uno del otro.

En el caso del I.H.A., las comunicaciones se realizan por medio de la Red Naval, del Servicio Costero y el de Faros. Las comunicaciones con la central de Hawaii se llevan a cabo a través de la NASA.

(3) Medidas de evacuación y otras

La evacuación de la población costera no es responsabilidad del I.H.A., sino de las autoridades locales del puerto o bahía considerada, a quienes dicho instituto les debe hacer llegar oportunamente la información de la aproximación de un maremoto.

Las medidas de evacuación, u otras, deben figurar en la planificación de emergencia que debe hacerse del área marítima y costera, ya sea por el comportamiento de las aguas o el correspondiente a las zonas probables de inundación, etc.

El resultado de los estudios mencionados permitirá que las autoridades puedan determinar, sobre una base segura, los planes de evacuación de la población costera, ante la inminencia de un tsunami de grandes proporciones, en los que deberá estar indicado: las rutas a seguir, la ubicación de los puestos de socorro, el almacenaje de alimentos, del agua, etc.

A primera vista, estas indicaciones parecieran ser exageradas; sin embargo, cuando se estudia y conoce los antecedentes de los grandes maremotos que han afectado al Pacífico, las medidas señaladas son las mínimas que deben considerarse en estos casos.

b. Exigencias de medidas especiales

Los actuales sistemas de alarma, tanto nacionales como internacional, están concebidos para salvar vidas, alertar naves en los puertos, etc., pero no ofrecen garantía alguna respecto a daños materiales en las instalaciones portuarias, muelles, caseríos a la orilla del mar o industrias con instalaciones costaneras, etc.

Se ha comprobado que es posible atenuar los efectos de una ola tsunami, mediante el adecuado diseño y construcción de defensas portuarias. Es cierto que ello es de un elevado costo; sin embargo, quedará compensado si se logra disminuir los efectos devastadores de un tsunami mayor.

También las empresas e industrias que representan grandes esfuerzos para la economía nacional, y cuyas instalaciones quedan a orillas del mar, están expuestas al grave riesgo de quedar inutilizadas durante un tsunami de grandes proporciones o, por lo menos, gravemente averiadas. Aun los tsunamis menores pueden averiar los sistemas de refrigeración o el funcionamiento de otras maquinarias.

De este modo, se hace necesario que una reglamentación adecuada exija que toda industria o empresa cuya instalación se proyecte a orillas del mar consulte en su diseño las medidas necesarias ante riesgos de maremotos. Asimismo, las industrias ya instaladas deberían hacer los estudios pertinentes que les permitan estar preparadas ante estos destructores fenómenos de la naturaleza.

Lo expuesto en este párrafo tiene también plena aplicación a la construcción e instalación de poblaciones costeras.

c. Preparación de planes de seguridad

Nuestro Sistema Nacional de Alarma, una vez confirmada la generación de un maremoto, pasa la información a las autoridades navales y civiles de la localidad, para que adopten las medidas de resguardo.

Conviene señalar que estas autoridades deben tener un conocimiento cabal sobre las características de los tsunamis y sus probables efectos, para que puedan preparar una planificación adecuada.

En la preparación de tales planes de seguridad o emergencia es necesaria la participación integrada tanto de las autoridades marítimas como del I.H.A., para que ellas tengan la oportunidad de señalar cuáles son los lugares costeros más expuestos.

d. Intensificar la investigación tsunami

Conociendo los efectos de un tsunami, nadie podrá poner en duda la imperiosa necesidad de intensificar la investigación técnica y científica de estos fenómenos marinos.

Entre los aspectos más inmediatos, conviene señalar la necesidad de determinar cuáles son los puertos o bahías más expuestos a los efectos de un maremoto, para lo cual los organismos técnicos y científicos del país competentes en estas materias deberán llevar a cabo los estudios pertinentes.

Del mismo modo, habrá que determinar, en dichos puertos, las características de refracción y resonancia.

La realización de los estudios mencionados será un positivo aporte para la futura planificación portuaria de nuestro país.