

CAPÍTULO 4

TSUNAMIS O MAREMOTOS

La Tierra, en forma similar a un reptil con armadura, está cubierta de enormes planchas rocosas que, derivan sobre el material más denso del manto, planchas que están siendo destruidas y renovadas constantemente en los procesos de la "tectónica de placas" que vimos en capítulos anteriores. En ninguna parte son estos procesos más evidentes que a lo largo del cinturón de frecuentes sismos y erupciones volcánicas que bordean el Océano Pacífico.

Y estos sismos, la descendencia destructora de fuerzas más grandes que modelan y remodelan el planeta Tierra, tienen su propia descendencia oceánica destructora, las grandes ondas del Océano Pacífico.

Cada isla y asentamiento costero en el área del Océano Pacífico, es vulnerable al ataque de estas grandes ondas.

Diversos nombres se le han dado en diferentes idiomas. Los japoneses, cuyas islas han sentido su poder destructivo durante muchos años, nos dieron el nombre utilizado internacionalmente: tsunami.

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Describir las ondas de tsunami.
2. Explicar el origen del nombre, del fenómeno.
3. Definir el o los mecanismos de generación.
4. Definir las transformaciones de un tsunami a lo largo de su camino desde el área de origen.
5. Describir la propagación de un tsunami.
6. Describir los efectos costeros de un tsunami.
7. Describir el Sistema de Alarma de Tsunami.

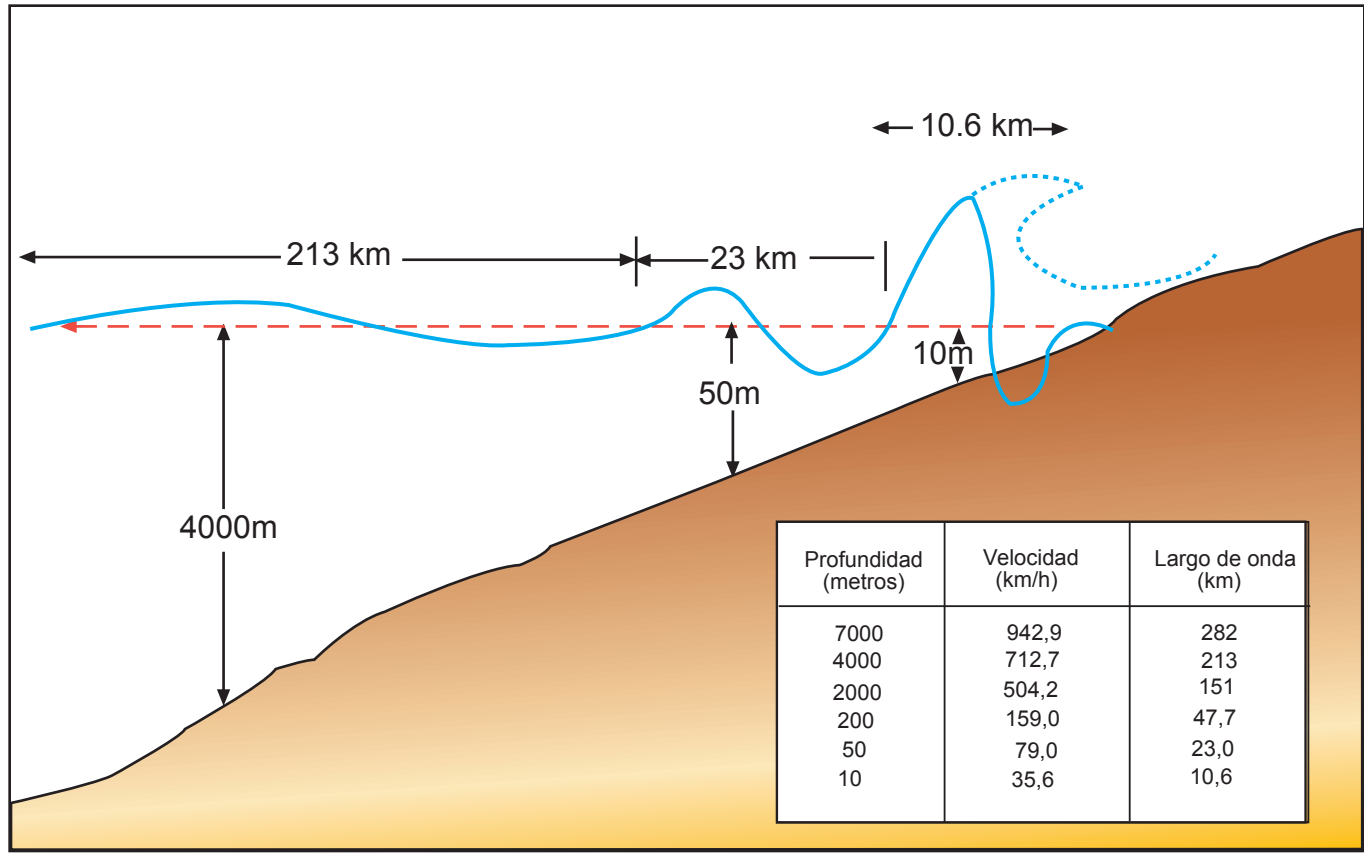
4.1 ¿QUÉ ES UN TSUNAMI?

A diferencia de los relatos exagerados o de ficción, un tsunami no es una monstruosa muralla de agua que se alza misteriosamente de la nada para atrapar barcos y comunidades costeras. Sin embargo, es una de las fuerzas de la naturaleza más imponentes y se expresa como una serie de ondas en el mar capaces de desplazarse a través de un océano completo con velocidades de hasta 900 km por hora.

En el mar profundo, las ondas de tsunami son de menos de 60 cm de alto, ni aun perceptibles desde barcos o aviones. Sin embargo su largo es a menudo mayor de 160 km, mucho mayor que la profundidad del agua por la que viajan, por esta razón se las denomina ondas de aguas someras.

No hay tal cosa como un tsunami típico. Cada uno es diferente. Aun así, los tsunamis son únicos, como un todo, por la cantidad de energía que contienen, inclusive en comparación con las más poderosas olas generadas por el viento.

Un tsunami "siente el fondo" aun en el océano más profundo, y parece que el avance de esta serie imperceptible de ondas representa el movimiento de toda la sección vertical del océano a través del cual pasa el tsunami.



Transformación de ondas de Tsunami

A medida que el tsunami entra en las aguas menos profundas de las líneas costeras en su camino, la velocidad de sus ondas disminuye y aumenta su altura, tal como se ve en la figura.

La llegada de un tsunami es a menudo precedida (pero, no siempre) por un receso gradual de las aguas costeras, cuando el seno de la onda precede a la primera cresta; o por un ascenso del nivel del agua de alrededor de la mitad de la amplitud del receso subsecuente. Esta es la alerta natural de que ondas de tsunami más severas se están aproximando. Es una alerta que debe ser tomada en cuenta, ya que las ondas de tsunami pueden alcanzar alturas de 30 metros, y atacar con una fuerza devastadora.

¿SABÍAS QUE ..?

La palabra tsunami es de origen japonés. Dividida en dos, "tsu" significa bahía y "nami" significa onda.

Los científicos japoneses fueron los primeros en llevar a cabo estudios especializados sobre los tsunamis. Su costa Este recibe la mayor actividad de ellos en el mundo, lo cual probablemente explica por qué la palabra japonesa fue adoptada internacionalmente.

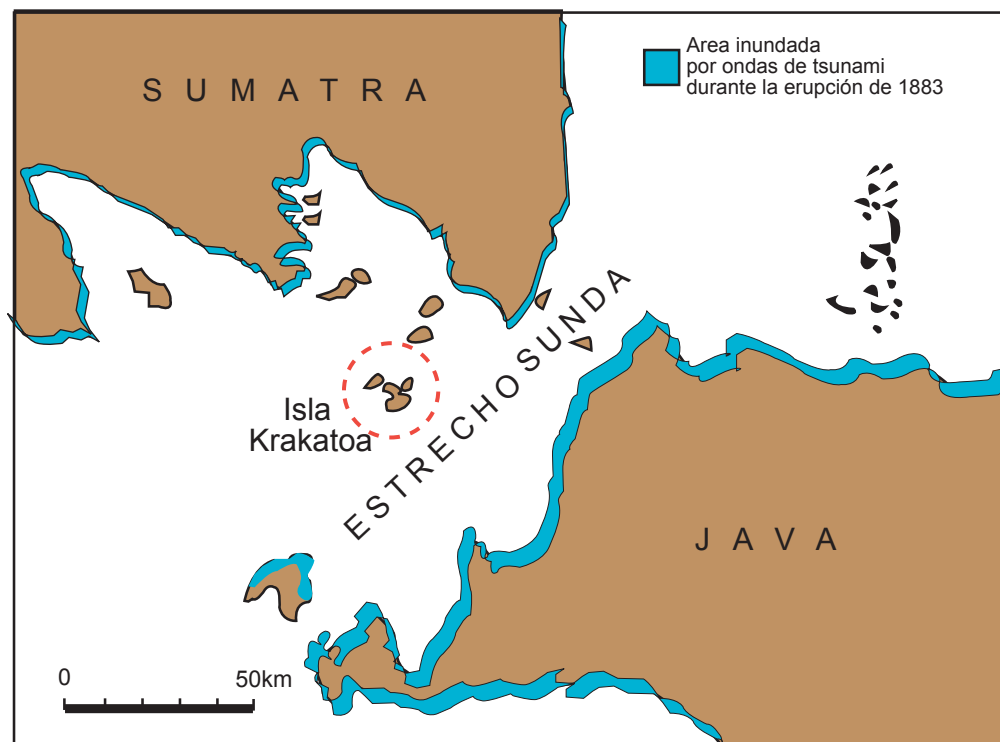
Otras palabras menos usadas para tsunami son:

- flutwellen (alemán)
- vloedgolven (holandés)
- hai-i (chino)
- maremoto (español)
- vagues sismiques (francés)
- tidal waves (inglés)
- seismic sea waves (inglés)

4.2 GENERACIÓN DE UN TSUNAMI

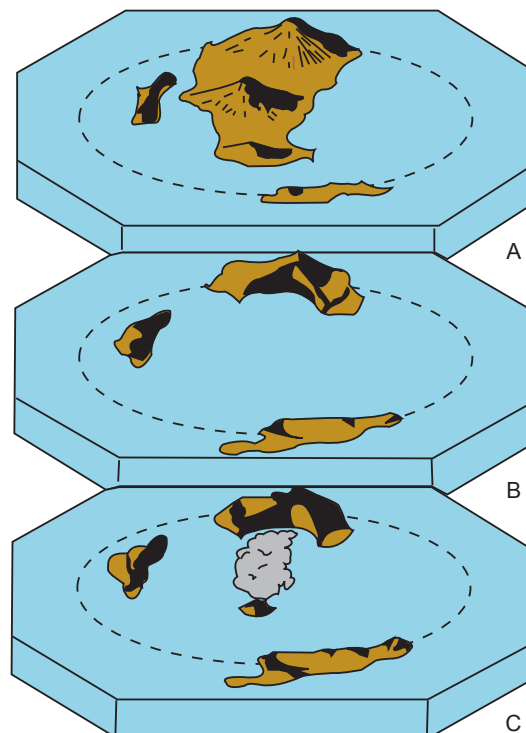
Las perturbaciones naturales como terremotos, erupciones volcánicas y derrumbes submarinos, pueden generar tsunamis. Perturbaciones provocadas por el hombre, tales como las explosiones atómicas bajo el agua, en 1946, pueden también gatillar las poderosas ondas. Pero, la causa más frecuente son los terremotos.

TSUNAMI GENERADO POR UN VOLCÁN

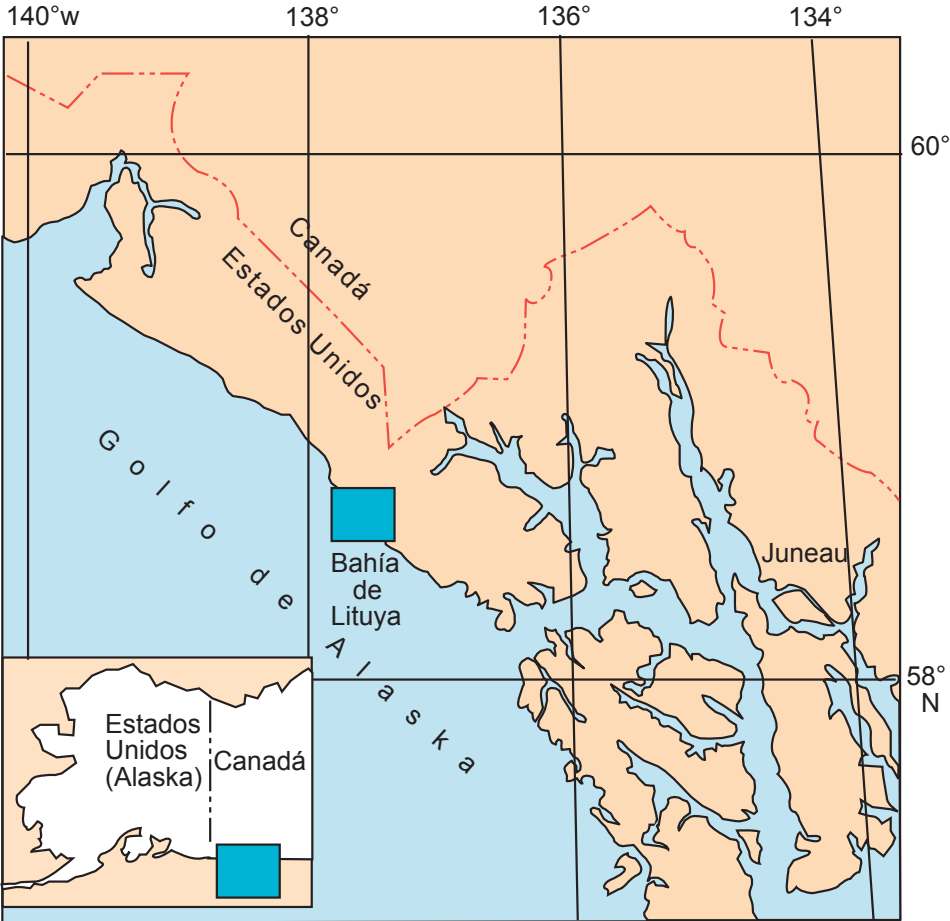


Ubicación de Isla Krakatoa

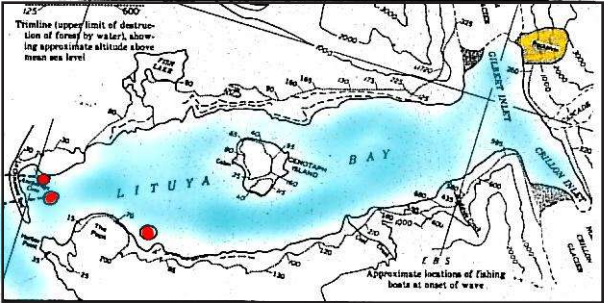
En 1883, una serie de erupciones volcánicas en Krakatoa, Indonesia, crearon un poderoso tsunami. A medida que avanzaba sobre las islas de Java y Sumatra hundió más de 5.000 botes y asoló muchas islas pequeñas. Olas tan altas como un edificio de 12 pisos aniquilaron cerca de 300 aldeas y mataron más de 36.000 personas. Los científicos creen que las ondas sonoras generadas por las explosiones dieron vuelta alrededor de la Tierra dos o tres veces.



Evolución isla Krakatoa durante erupción de 1883.



Ubicación de la Bahía Lituya



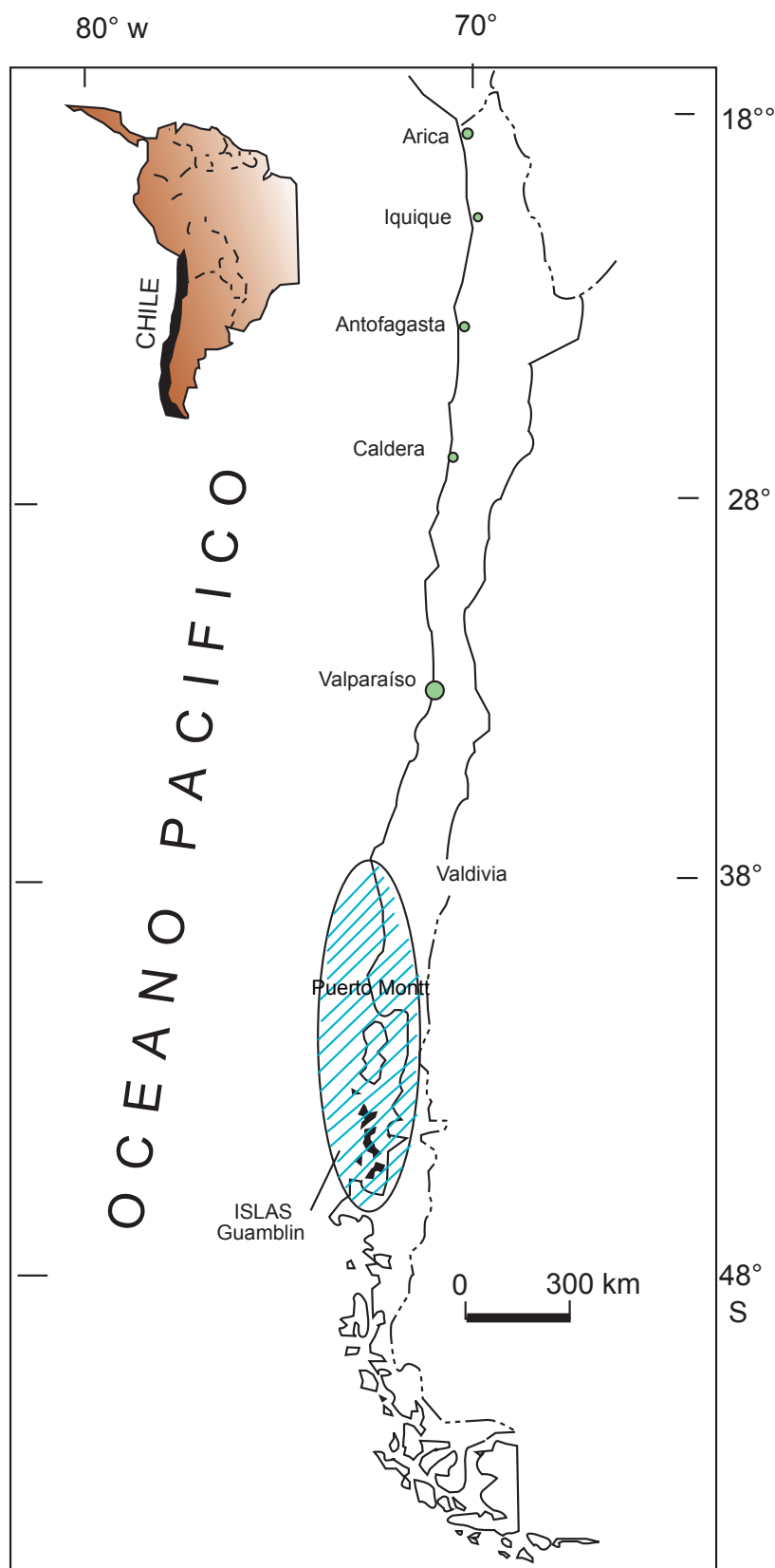
Bahía Lituya

TSUNAMI GENERADO POR UN TERREMOTO

El tsunami más destructivo de la historia más reciente fue generado a lo largo de la costa de Chile, por un terremoto ocurrido el 22 de mayo de 1960.

No se puede precisar con exactitud el daño y muertos atribuibles o que se pudieran dar en este tsunami a lo largo de la costa de Chile. Sin embargo, todos los pueblos costeros entre los 36 y 44 de latitud sur fueron destruidos o dañados fuertemente por la acción de las ondas de tsunami y el sismo. La combinación doble del tsunami y terremoto produjo en Chile 2.000 muertos, 3.000 heridos, dos millones de damnificados y 550 millones de dólares en daños. El tsunami causó 61 muertos en Hawaii, 20 en las Filipinas, 3 en Okinawa y 100 o más en Japón.

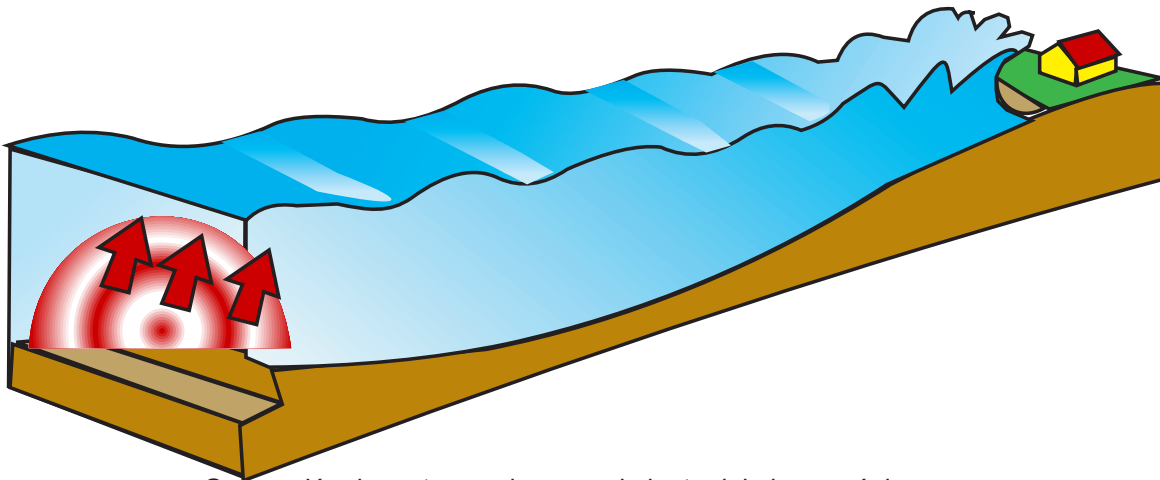
Los daños estimados fueron de 50 millones de dólares en Japón, 24 millones de dólares en Hawaii y un millón de dólares a lo largo de la costa de los EE.UU. Las alturas de las olas variaron entre 13 metros en las Islas Pitcairn, -12 metros en Hilo, Hawaii, 7 metros en varios lugares de Japón y oscilaciones leves en otras áreas.



Zona afectada por el maremoto del 22 de mayo de 1960

4.3 MECANISMOS DE GENERACIÓN DE UN TSUNAMI.

El pensamiento corriente, es que, los tsunamis son generados por un repentino movimiento vertical del piso oceánico, a lo largo de fallas durante los sismos mayores, como se observa en la figura.



Generación de un tsunami por movimiento del piso oceánico.

En el caso de terremotos submarinos, el mecanismo de generación de las ondas de tsunami es el siguiente: cuando ocurre el terremoto se produce un notorio desplazamiento de la corteza oceánica bajo la placa continental; en esta situación se puede producir un repentino desplazamiento vertical del piso oceánico hacia arriba o hacia abajo. El nivel del mar dentro del área de deformación mostrará una deformación similar, pero mientras la deformación del piso oceánico puede mantenerse en forma permanente, no sucede lo mismo con la superficie del mar. La vuelta del nivel del mar a su posición normal genera una serie de ondas que se propagan en todas direcciones, a partir de la zona inicialmente deformada.

Aunque, los sismos que ocurren a lo largo de fallas de desplazamiento horizontal generan a veces tsunamis, ellos son locales y, generalmente, no se propagan a grandes distancias. Hay autores que señalaron que sismos mayores que ocurrieron a lo largo de fallas de desplazamiento horizontal, cerca de las costas de Alaska y la Columbia Británica, Canadá, generaron tsunamis que fueron observables a distancias no superiores a 100 km.

Como ya se señaló, la mayor parte de los tsunamis ocurren después de un gran terremoto de foco superficial bajo el mar. Sin embargo, hay un número de ejemplos donde el terremoto (que produjo el tsunami) ocurrió tierra adentro. A partir de esto, se debe deducir que los tsunamis pueden ser generados ya sea por cambios del fondo del mar (fallamiento) o por ondas sísmicas superficiales que pasan a través de la somera plataforma continental. Las ondas sísmicas superficiales de período largo (las llamadas ondas Rayleigh) tienen una componente vertical y transmiten una buena cantidad de

4.4 PROPAGACIÓN DEL TSUNAMI

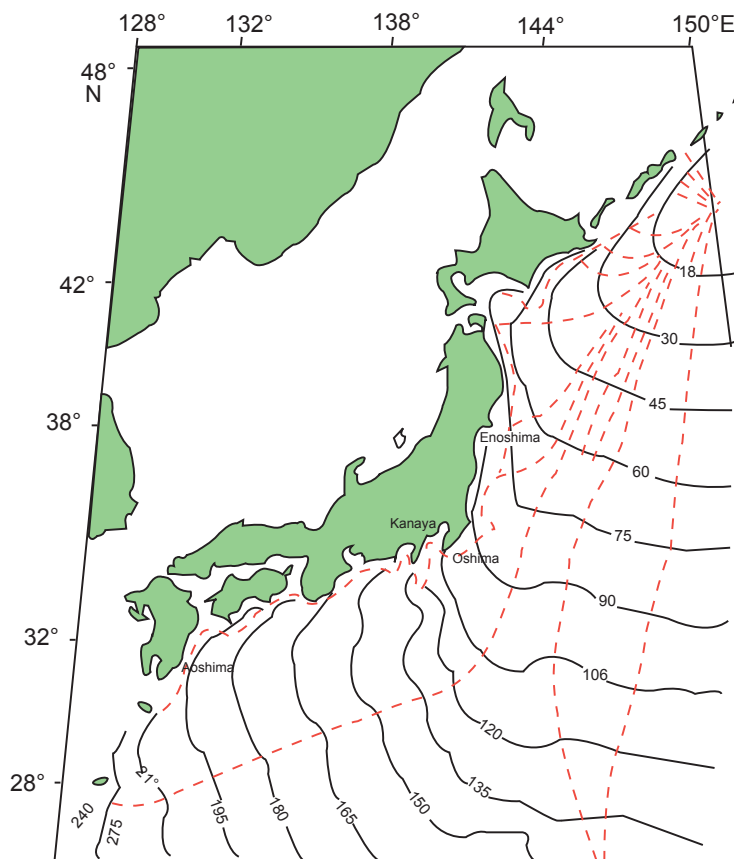
La velocidad con la cual viaja un tsunami depende de la profundidad del agua por la cual se desplaza. Si la profundidad del agua disminuye, la velocidad de propagación del tsunami hace lo mismo. En el medio del Pacífico, donde las profundidades del mar alcanzan 4,5 kilómetros, las velocidades del tsunami pueden ser superiores a 700 kilómetros por hora.

A continuación, se considerarán algunos conceptos generales respecto a la refracción y la difracción de ondas en el agua. Estos fenómenos son importantes para el problema de la propagación de un tsunami.

- **REFRACCIÓN DE ONDAS:** Considera una serie de ondas progresivas cuyos largos de onda son mucho más grandes que las profundidades del mar sobre las cuales se propagan; estas son denominadas ondas de aguas someras u ondas largas.

Debido a que las ondas son largas, partes distintas de una onda pueden estar sobre profundidades muy diferentes en un momento dado (especial mente en áreas costeras).

Como la profundidad determina la velocidad de las ondas largas, partes diferentes viajarán con diferentes velocidades, provocando que las ondas se curven, lo cual es llamado refracción de ondas.



Ejemplo de refracción de ondas.

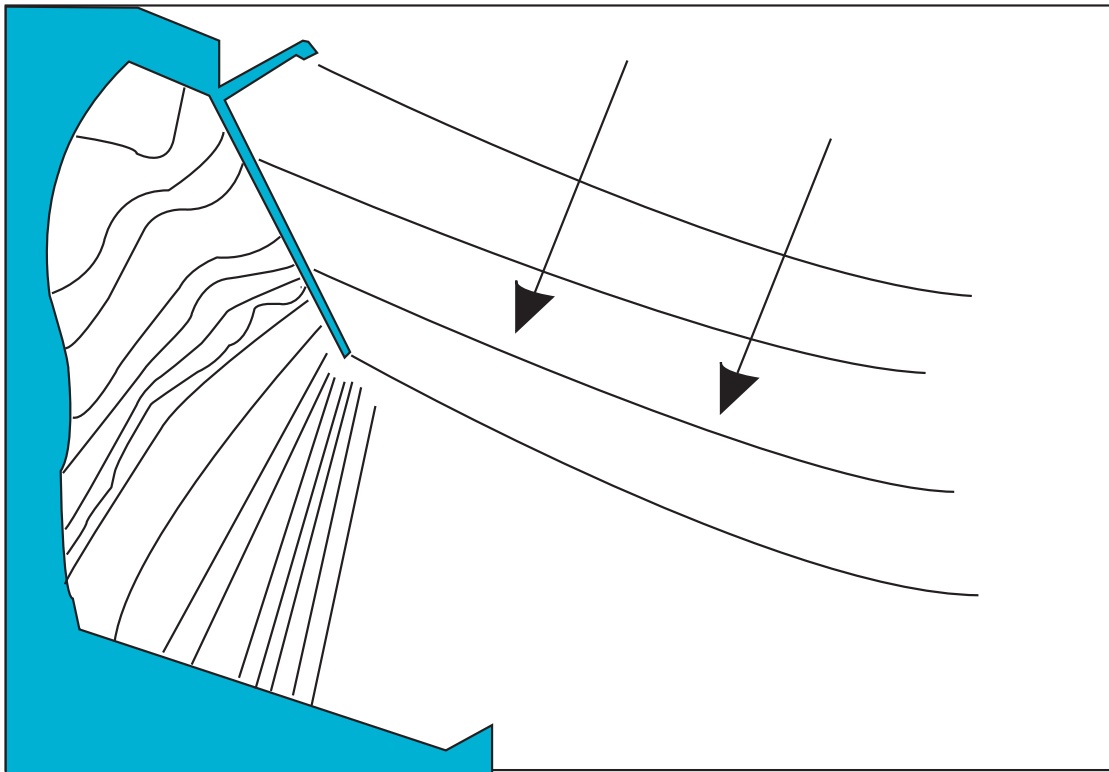
DIFRACCIÓN DE ONDAS EN EL AGUA: La difracción es un fenómeno bien conocido, especialmente en óptica y acústica. Aunque se aplican más o menos los mismos principios en hidrodinámica, en términos generales será conveniente definir la difracción de ondas en el agua tal como se entiende en ingeniería costera:

Considera un sistema de ondas interrumpido por una estructura similar a un rompeolas. La parte de las ondas que incide en la estructura será reflejada, mientras que la porción que se mueve más allá del extremo del rompeolas será el

origen de un flujo de energía en la dirección a lo largo de la cresta de la onda y dentro de la región a sotavento de la estructura.

La "cola" de la onda actuará de alguna forma como una fuente potencial, y la onda a sotavento del rompeolas se esparcirá aproximadamente en un arco circular con una amplitud que disminuirá en forma exponencial a lo largo de su arco.

Este fenómeno físico es el denominado como difracción.



Ejemplo de difracción de olas.

• TSUNAMIS GENERADOS A GRAN DISTANCIA

Cuando un tsunami viaja una gran distancia a través de los océanos, se debe considerar la esfericidad de la Tierra para determinar los efectos del tsunami sobre una costa lejana. Las ondas que divergen cerca de su origen, convergerán nuevamente en un punto ubicado en el lado opuesto del océano. Un ejemplo de esto fue el tsunami de 1960, cuyo origen estuvo en la costa Sur de Chile, en latitud $39,5^{\circ}$ S, y longitud $74,5^{\circ}$ W. La costa de Japón está entre las latitudes 30° y 45° N y longitudes entre 135° y 140° E, una diferencia de 145 a 150 grados de longitud desde el área origen. Como resultado de la convergencia de rayos sin refractar, la costa de Japón sufrió daños importantes y ocurrieron muchas muertes. La figura siguiente ilustra la convergencia de los rayos de las ondas de tsunami, debida a la esfericidad de la Tierra.



Convergencia de los rayos de ondas del tsunami generado por el terremoto de Valdivia (Chile) en 1960.

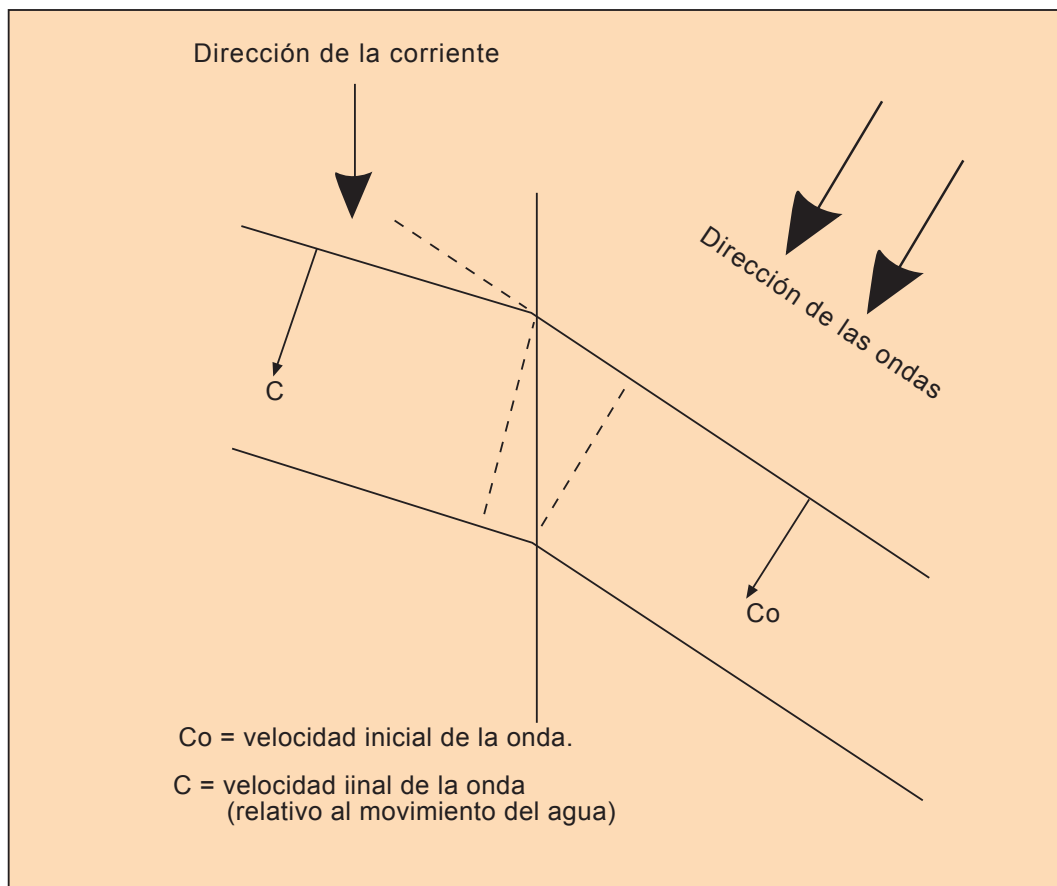
Además del efecto ya mencionado, los rayos de las ondas de tsunami son desviados de su trayectoria natural a lo largo de círculos máximos, debido a la refracción de los rayos provocada por diferencias de profundidad, desplazándolos hacia trayectorias dadas por los lugares más profundos.

Hay otros mecanismos que causan la refracción de ondas en el agua, aun en aguas profundas y sin haber irregularidades topográficas. Ha sido demostrado que una corriente que se desplace en forma oblicua a las ondas, puede cambiar la dirección de propagación de ellas y su largo de onda.

Modificación de la dirección de la onda por la presencia de una corriente.

A medida que un tsunami se aproxima a la línea de costa, las ondas son modificadas por los diversos rasgos que existen mar afuera y en la costa. Montañas sumergidas y arrecifes, plataformas continentales, promontorios, bahías de diferentes formas y la inclinación de la playa, pueden modificar el período y altura de la onda y pueden causar resonancia de ondas, energía de ondas reflejadas dando origen a la formación de olas que inundarán la línea de playa.

Las cordilleras oceánicas proporcionan muy poca protección a una línea de costa. Mientras que algo de energía en un tsunami podría reflejarse en una cordillera, la mayor parte de la energía será transmitida a través de la cordillera submarina. El tsunami de 1960, que se originó a lo largo de las costas del Sur de Chile, es un ejemplo de esto. Ese tsunami tuvo ondas de gran altura a lo largo de Japón, incluyendo Shikoku y Kyushu que quedan detrás de la Cordillera del Sur de Honshu.



Modificación de la dirección de la onda por la presencia de una corriente

• TSUNAMIS LOCALES

Durante la ocurrencia de un tsunami local, sus efectos son producidos muy poco después que terminan los efectos del fenómeno que produjo el tsunami (terremoto, erupción volcánica submarina o derrumbe). Se han observado lapsos tan pequeños como dos minutos entre la ocurrencia del terremoto y la llegada del tsunami a la costa más cercana.

Por esta razón, los sistemas de alarma de tsunami son inútiles en este, tipo de evento, y no debemos esperar instrucciones provenientes desde un sistema establecido para reaccionar y ponernos a salvo del impacto del posible tsunami. Esta incapacidad operativa de los sistemas de alarma de tsunami se ve aumentada más aún por el colapso de los sistemas y las comunicaciones generado por el terremoto local. Por esta razón, es necesario planificar en forma previa las reacciones personales pertinentes para mantenerse fuera de la zona de impacto del tsunami.

4.5 EFECTOS COSTEROS

La acción de las ondas de tsunami sobre una costa es variable y depende, principalmente de la combinación de topografía submarina y terrestre en el área y de la orientación de las ondas que estén llegando.

• ALTURA DE LAS ONDAS

La altura de las ondas también se ve afectada por la costa misma. El efecto de embudo de una bahía, por ejemplo, aumenta la altura de las ondas. Por otra parte, un bajo o una barra de arena mar afuera disminuye la altura. Esto explica las amplias variaciones de un tsunami que ocurren a lo largo de una costa.

• ASCENSO DE UN TSUNAMI (RUNUP) SOBRE UNA COSTA

La llegada de un tsunami a una línea costera causa un aumento en el nivel del agua que puede llegar hasta 30 metros o más en casos extremos, sobre el nivel habitual del mar. Aumentos del nivel del mar de 10 metros no son raros. Esta diferencia vertical del nivel del agua es llamada en inglés el runup del tsunami.

La altura de un tsunami variará desde un punto a otro a lo largo de la línea de costa. Las variaciones en la altura del tsunami y la topografía costera, provocarán realmente variaciones en las características del runup a lo largo de cualquier sección de la línea de costa.

Un ejemplo de lo extrema que puede ser esta variación ha sido dada por algunos científicos, para Haena, en la isla de Kauai, Hawaii, donde hubo un leve ascenso del nivel del agua en el lado occidental de la bahía, pero a menos de 2 kilómetros hacia el Este, las ondas impactaron sobre las costa, aplastando bosquecillos y destruyendo casas.

Debe destacarse que las características de las ondas pueden variar de una onda a la siguiente en el mismo lugar de la costa. Algunos científicos citan un caso en Hawaii donde las primeras ondas llegaron tan suavemente que un individuo fue capaz de avanzar con dificultad a través de aguas a la altura del pecho, mientras ellas ascendían. Las ondas posteriores fueron tan violentas, que destruyeron casas y dejaron una línea de despojos contra los árboles 150 metros tierra adentro.

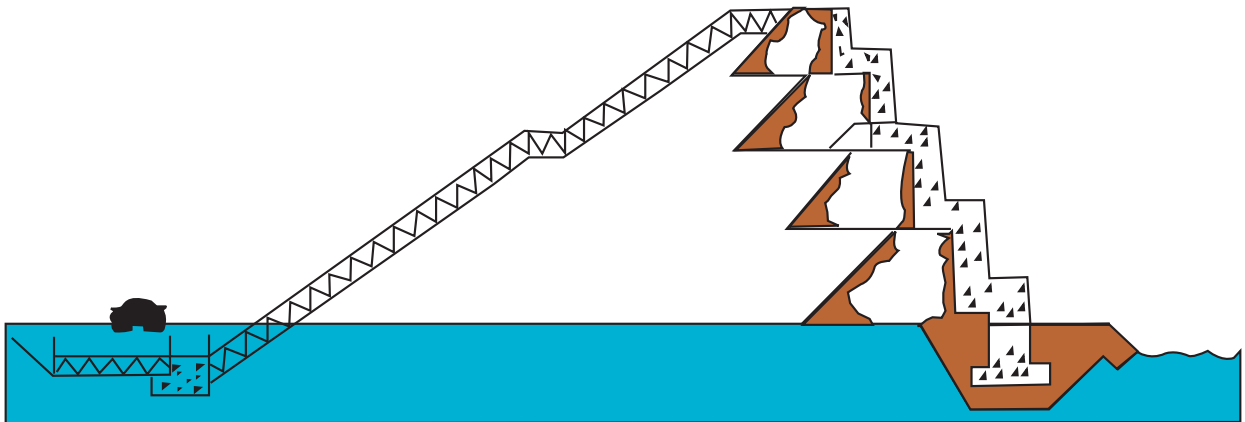
• IMPACTO DE UN TSUNAMI

La destrucción causada por los tsunamis proviene principalmente del impacto de las ondas, de la inundación y erosión de las fundaciones de los edificios, de los puentes y de los caminos. El daño se ve aumentado por los despojos flotantes y por los botes y automóviles que chocan con los edificios. Se agregan a esto fuertes corrientes, a veces asociadas con el tsunami, que liberan grandes troncos y embarcaciones ancladas.

Un daño adicional que puede producirse, proviene de incendios de derrames de combustibles relacionados con el tsunami y la consiguiente contaminación por estos derrames y por aguas de alcantarillas y productos químicos.

4.6 PROTECCIÓN CONTRA LOS TSUNAMIS

Es imposible proteger completamente cualquier costa de la furia de los tsunamis. Algunos países han construido rompeolas, diques y varias otras estructuras para tratar de debilitar la fuerza de los tsunamis y para reducir su altura. En Japón, los ingenieros han construido enormes terraplenes para proteger los puertos y rompeolas para angostar las bocas de las bahías en un esfuerzo para desviar o reducir la energía de las poderosas ondas.



Tipo de rompeola diseñado como defensa contra tsunamis.

Pero ninguna estructura defensiva ha sido capaz de proteger las costas bajas. En efecto, las barreras pueden aumentar la destrucción si son sobrepasadas por el tsunami, lanzando trozos de cemento como proyectiles.

En algunos casos, los árboles pueden ofrecer algo de protección contra el embate de un tsunami. Las arboledas solas o como complemento a estructuras de protección costera, pueden disipar la energía del tsunami y reducir su altura.

4.7 EL SISTEMA DE ALARMA DE TSUNAMI

• OBJETIVO

El objetivo operacional del Sistema de Alarma de Tsunami (SAT) en el Pacífico es detectar y ubicar los terremotos ocurridos en la Región del Pacífico, determinar si ellos han generado tsunami, y proporcionar información de tsunami y alarmas en forma oportuna y efectiva a la población del Pacífico para minimizar los peligros del tsunami, especialmente sobre la vida y el bienestar de los seres humanos. Para lograr este objetivo, el SAT monitorea en forma continua la actividad sísmica y el nivel de la superficie del océano en la Cuenca del Pacífico.

• DESCRIPCIÓN

El SAT es un programa internacional que requiere la participación de muchas instalaciones sísmicas, de marcas, de comunicaciones y de difusión operadas por la mayor parte de las naciones alrededor del Océano Pacífico. Administrativamente, las naciones participantes están organizadas bajo la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) como el Grupo Internacional de Coordinación para el Sistema de Alarma de Tsunami en el Pacífico (GIC/ITSU).



Estaciones sismológicas y de marea del Sistema de Alarma de Tsunami en el Pacífico.

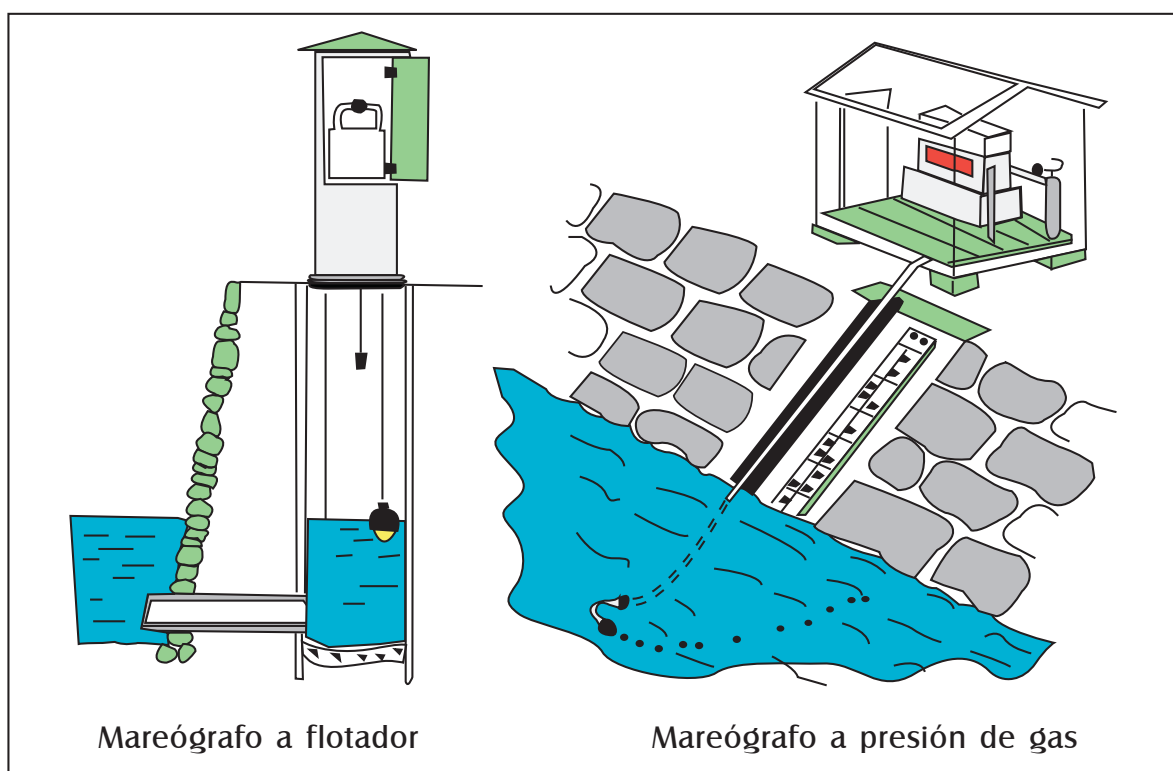
El Centro Internacional de Información de Tsunamis (ITIC) fue establecido a petición de la COI y tiene entre sus roles el ayudar a los estados miembros del GIC/ITSU a mitigar los efectos de los tsunamis a través del Pacífico.

El Centro de Alarma de, Tsunami del Pacífico (PTWC) sirve como el centro operativo para el Sistema de Alarma de Tsunami del Pacífico.

El PTWC recolecta y evalúa los datos proporcionados por los países participantes y disemina los boletines informativos apropiados a todos los participantes respecto a la ocurrencia de un sismo importante, y la generación posible o confirmada de un tsunami.

• PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

El funcionamiento del Sistema comienza con la detección, en cualquier observatorio participante, de un sismo de tamaño suficiente como para activar la alarma adjunta al sismógrafo de esa estación. El personal de la estación interpreta inmediatamente sus sismogramas y envía sus lecturas al PTWC. Al recibo de un informe proveniente de uno de, los observatorios sismológicos participantes, o como consecuencia de la activación de su propia alarma sísmica, el PTWC envía mensajes solicitando datos a otros observatorios en el Sistema.



Instalaciones típicas de mareógrafos.

Cuando el PTWC haya recibido datos suficientes para ubicar el sismo y calcular su magnitud, se toma una decisión respecto a acciones posteriores. Si el sismo es lo suficientemente grande

como para causar un tsunami y está localizado en un área donde es posible su generación, el PTWC solicitará que las estaciones mareográficas ubicadas cerca del epicentro, revisen sus registros en busca de, evidencias del tsunami.

Se difunden Boletines de Alarma/Alerta de Tsunami a las agencias de difusión en caso de sismos de magnitudes superiores a 7,5 (mayores a 7,0 en la región de las islas Aleutianas), alertando acerca de la posibilidad de que haya sido generado un tsunami y proporcionando datos que pueden ser traspasados al público, de tal manera que puedan tomar precauciones preliminares.

Se evalúan los informes recibidos de las estaciones mareográficas; si ellos muestran que se ha generado un tsunami que puede afectar a la población en parte o en la totalidad del Pacífico, la emisión del Boletín de Alarma /Alerta de Tsunami se extiende o mejora a la totalidad del Pacífico. Entonces, las agencias de difusión implementan planes previamente establecidos para la evacuación de la gente de los lugares peligrosos. Si el informe de la estación mareográfica indica que se ha generado un pequeño tsunami o ninguno, el PTWC disemina una cancelación de su Alarma/Alerta de Tsunami previa.

En algunas áreas de la Cuenca del Pacífico, existen sistemas nacionales o regionales de alarma de tsunami para proporcionar información y alarmas de tsunami efectivas y oportunas a las poblaciones afectadas. Para aquellas zonas costeras más próximas al área origen, es obvia la necesidad para un rápido manejo de los datos y de, las comunicaciones. Debido al tiempo que se gasta en recolectar los datos sísmicos y de marca, las alarmas proporcionadas por el PTWC no pueden proteger todas las áreas en el Pacífico contra los tsunamis generados en aguas adyacentes. Para proporcionar algún grado de protección, dentro de la primera hora después de la generación para tsunamis en el área local, se han establecido sistemas de alarma de tsunami nacionales y regionales en algunos países, incluido el nuestro. Los sistemas regionales proporcionan la alerta más temprana posible a la población, dentro de la vecindad inmediata al epicentro del sismo, al diseminar alarmas inmediatas basadas en la información del sismo, sin esperar la confirmación del tsunami.

Para funcionar de manera efectiva, estos centros regionales, generalmente, tienen datos de varias estaciones sísmicas y de mareas que envían sus datos por enlaces de microondas a una oficina central. Los sismos locales son normalmente localizados en 15 minutos o menos, y se difunde una alarma basada solamente en la evidencia sismológica a la población del área. Ya que la alarma es proporcionada sólo en base a datos sísmicos, se puede anticipar que ocasionalmente se entregarán alarmas cuando no se ha generado un tsunami. Como la alarma ha sido entregada sólo a áreas restringidas y la confirmación de la existencia o no existencia de un tsunami es obtenida rápidamente, se logra un nivel más alto de protección.

Entre los sistemas nacionales más sofisticados están los de Japón, Francia, la ex Unión Soviética y los Estados Unidos de América. En este último país, el PTWC tiene una responsabilidad como el Centro Nacional de Alarma de Tsunami de proporcionar servicios de alarma de tsunami para el caso de cualquier tsunami que impacte los intereses nacionales de los EEUU. Además, el PTWC actúa como el Centro Regional de Alarma de Tsunami de Hawái para aquellos tsunamis generados dentro de las Islas Hawaianas.

A) REPORTAJES

• DOS TSUNAMIS DEL PASADO

(Extractado de DISCOVER / Agosto 1983)

Probablemente, el mayor tsunami de todos los tiempos está encubierto en los mitos de la Antigüedad. Nació alrededor de 1450 AC. En las islas de Thera, en el sudeste de Grecia. En ese lugar floreció una brillante ciudad real de la civilización Minoana, hasta que un día el volcán de Thera explotó, arrojando la mayor parte de la isla al aire. Algunos eruditos han especulado que el tsunami resultante puede haber inspirado la historia de la partición del Mar Rojo hecha por Moisés, y la muerte de Thera puede haber sido la base objetiva para la fábula de la Atlántida relatada más tarde por Platón.

Un tsunami gigantesco acompañó el catastrófico terremoto de Lisboa del 1 de Noviembre de 1755. El sismo estuvo aparentemente centrado en el piso oceánico al oeste de Lisboa. Las ondas de tsunami y el terremoto mataron por lo menos 60.000 personas, muchas de las cuales se habían reunido en iglesias para celebrar el Día de Todos los Santos.

• CABALGANDO UN TSUNAMI

Por el Almirante L.G. Billings (U.S. Navy)

(Extractado de THE NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE, January 1915)

Es el propósito de este artículo el registrar una experiencia espeluznante en uno de los terremotos modernos, en el cual un buque de guerra de los Estados Unidos de América fue transportado sobre la cresta de una onda de tsunami 2 millas tierra adentro y asentado, completamente intacto, sobre la playa a 30 metros de los cerros.

En 1868, estaba destacado en el U.S.S. "Wateree", en aquella época en comisión en el Pacífico Sur - una clase de buque construido al término de nuestra Guerra Civil para subir por los angostos y tortuosos ríos del Sur. Tenía ruedas de propulsión en ambos extremos y era de fondo casi plano - una conformación que, mientras no contribuía a sus condiciones marineras, le permitía llevar una gran batería y una gran tripulación, lo que eventualmente salvó nuestras vidas en la catástrofe que pronto caería sobre nosotros.

En agosto de 1868, nos encontrábamos tranquilamente fondeados en la hermosa ciudad de Arica, adonde habíamos remolcado el viejo buque-almacén "Fredonia" arrancando de los estragos de la fiebre amarilla, que desolaba el Callao y Lima. Era el 8 de agosto de 1868, cuando cayó la calamidad sobre nosotros, como una tormenta a partir de un cielo despejado, inundándonos a todos nosotros en una ruina común.

Estaba sentado en la cabina con nuestro comandante, alrededor de las 4 de la tarde, cuando fuimos sorprendidos por un violento estremecimiento del buque, similar al efecto producido al soltar el ancla. Sabiendo que no podía ser eso, corrimos al puente. Mirando hacia la costa, nuestra atención fue inmediatamente atraída por una gran nube de polvo que se aproximaba rápidamente desde el sureste, mientras crecía en intensidad un terrible retumbo, y ante nuestros aterrorizados ojos los cerros parecía cabecear, y el terreno oscilaba como las olas cortas de un mar agitado. La nube envolvió Arica, instantáneamente a través de su velo impenetrable se elevaron gritos de auxilio, el crujido de casas derrumbándose, y los miles de ruidos provenientes de una gran calamidad, mientras el buque era sacudido como si fuera empuñado por una mano gigantesca; después pasó la nube.

A medida que el polvo se asentaba nos frotamos los ojos y mirábamos una y otra vez, creyendo que nuestros ojos nos engañaban; pues donde antes había una próspera y alegre ciudad, bullente de vida y actividad, contemplamos una masa de ruinas, apenas alguna casa en pie; ninguna perfecta; las calles bloqueadas con escombros, a través de los cuales forcejeaban frenéticamente los menos heridos tratando de zafarse de los desdichados miserables aprisionados en las ruinas de lo que fueron sus dichoso hogares; mientras el aire era desgarrado con quejidos, gritos y pedidos de auxilio. Por sobre todo este horror el Sol brillaba sin misericordia en un cielo sin nubes; el mar llegaba a la playa tan tranquilamente como antes ¿cuánto duró? Nadie tomó nota de la hora.

Con el fresco recuerdo en nuestras mentes del tsunami que siguió al terremoto de Santa Cruz y que encalló al "Monongahela", uno de nuestros mayores orgullos, en las calles, ansiosamente inspeccionábamos el mar buscando cualquier signo no habitual que presagiara la llegada de ese espantoso acompañamiento, pero todo estaba calmo y sereno como antes.

Sin embargo, nuestro prudente comandante dio las órdenes necesarias para prepararse para lo peor. Se lanzaron anclas adicionales, se cerraron la escotillas, se aseguraron los cañones, y se tendieron cuerdas de seguridad a la proa y a popa, y por unos pocos momentos todo se convirtió en una ordenada confusión de un bien disciplinado buque de guerra preparándose para entrar en acción. En pocos momentos estábamos preparados para cualquier emergencia.

Mirando nuevamente hacia la costa, vimos a los ilesos repletando la playa y el pequeño muelle, gritando a los buques que los ayudaran a desenterrar a sus seres queridos de las ruinas y que los transportaran a la seguridad aparente de los buques fondeados tan tranquilamente. Esto era más de lo que nosotros podíamos contemplar sin actuar; y se dieron órdenes para preparar una partida de desembarque de 40 hombres, debidamente equipados con herramientas. La ballenera, con una tripulación de 13 hombres, zarpó de inmediato. Llegó a la costa y desembarcó su tripulación, dejando solamente el acostumbrado hombre de guardia.

Nuestra atención se vio ahora distraída de la formación de nuestro grupo de trabajo por la aparición de un ronco murmullo. Mirando hacia la playa, con horror contemplamos que no había nadie en el muelle que antes estaba repleto de gente - todos devorados en un momento. Entre los despojos vimos la ballenera portando solamente al hombre de guardia, arrastrada por una irresistible marea hacia los faldeos del Morro, mientras el marinero luchaba con la corriente. Encontrando que sus esfuerzos eran vanos y convencido de que le aguardaba una muerte segura, abandonó su inútil timón, y corriendo a proa, empuñó la bandera del bote y dio un último adiós a sus compañeros, mientras el bote desaparecía para siempre en la espuma de las crueles rocas de la orilla. De esta forma el "Wateree" perdió el único miembro de su tripulación de 235 hombres en aquel aciago día.

Pero, nuestros problemas recién comenzaban. Fuimos sorprendidos por un terrible ruido en la costa que duró varios minutos. Nuevamente, la tierra oscilaba y en esta oportunidad el mar descendió hasta que el buque encalló, mientras que hacia el lado del mar hasta donde nuestra visión alcanzaba, vimos el fondo rocoso de mar, nunca antes expuesto a la mirada humana, con peces y monstruos de las profundidades que luchaban en seco. Los buques con fondo redondeado se inclinaron, mientras que el "Wateree" descansaba tranquilamente sobre su casco plano, cuando el mar retornó, no como una ola, sino más bien como una gigantesca marea, volcando una y otra vez en nuestros desafortunados navíos acompañantes, dejando algunos invertidos y a otros convertidos en una masa de ruinas, el "Wateree" se elevó tranquilamente sobre las agitadas aguas, ileso.

A partir de ese momento el mar pareció desafiarlas leyes de la naturaleza. Las corrientes corrían en direcciones opuestas, y nosotros fuimos arrastrados hacia todos lados con una velocidad que no podríamos haber igualado, aunque hubiéramos estado arrancando protegiendo nuestras vidas.

A intervalos regulares retornaban los temblores, pero ninguno tan violento o largo como el primero.

En frente del Morro, y a una corta distancia de él, se alza un islote algunos metros por sobre le agua, donde los peruanos habían excavado un fuerte en la roca sólida y habían montado dos cañones de 15 pulgadas, con una dotación de 100 hombres. Estábamos a una corta distancia de este fuerte y temíamos ser arrojados contra sus rocosos costados, cuando repentinamente lo vimos desaparecer bajo las olas. Si se hundió o el agua se elevó, no lo podíamos decir; solamente sabíamos que desapareció; y cuando reapareció, después de un rato, como una gigantesca ballena, no solamente había desaparecido la dotación, sino también los cañones y los carros. Imagínese, si puede, cómo el agua elevó esas inmensas masas de fierro, que pesaban varias toneladas y fueron arrojadas de sus parapetos de 8 pies de altura. Es un problema que nunca se resolverá.

Antes del terremoto, Arica tenía una de las mejores y más modernas maestranzas entre el Callao y Valparaíso. Muchas maquinarias eran pesadas y estaban aseguradas en forma apropiada sobre fundaciones de cemento. Habían también varias locomotoras, coches, y muchas piezas fundidas de gran peso. Todo esto desapareció sin dejar ni un solo vestigio de ellas. Parecía imposible que hubieran sido arrojadas al mar; pero de seguro no pudieron ser encontradas en la costa.

Había oscurecido ya hace un rato y no sabíamos donde estábamos, agregando a nuestra confusión la ausencia de faro o luces costeras. Alrededor de las 8.30 PM, el vigía llegó al puente de mando e informó que se aproximaba una rompiente. Mirando hacia el mar, vimos primero una línea de luz fosforescente, que se vislumbraba cada vez más alta, hasta que parecía tocar el cielo; su cresta, coronada con la luz muerta de su brillo fosforescente que mostraba las lúgubres masas de agua bajo ella. Anunciada mediante el atronador ruido de miles de rompientes combinadas, la espantosa ola finalmente estaba sobre nosotros. De todos los horrores de este espantoso tiempo, esto parecía ser lo peor. Encadenados al lugar, incapaces de escapar, no podíamos sino observar la ola monstruosa que se aproximaba, sin poder contar con la ayuda para ponernos en acción.

Que el buque pudiera flotar a través de las masas de agua que se precipitaban sobre nosotros, parecía imposible. Solamente podíamos agarrarnos de las líneas de seguridad y esperar la inminente catástrofe.

Con un estrépito, nuestro gallardo buque fue inundado y sepultado bajo una masa semisólida de arena y agua. Estuvimos sumergidos sin aliento durante una eternidad; luego, con cada parte del buque crujiendo, el leal y viejo "Wateree" salió a la superficie, con su sorprendida tripulación aún agarrada de las líneas de seguridad - algunos seriamente heridos, magullados, pero ninguno muerto, ni siquiera ninguno faltante. Nos pareció entonces un milagro, y rememorando los hechos ahora, me parece doblemente peligroso.

Sin duda que nuestra salvación se debió al diseño del buque. El buque fue desplazado en forma rápida durante un tiempo, pero después de un rato el movimiento cesó, y bajando una linterna por el costado, nos encontramos en la costa, sin saber en que lugar de ella. Olas más pequeñas se movieron a nuestro alrededor durante cierto tiempo, luego cesaron. Durante algún tiempo permanecimos de guardia, pero como el buque permaneció estacionario, y nada nuevo ocurría, se dio la orden de dejar los puestos, y todos nos fuimos a descansar, exceptuando el personal de guardia.

El sol matinal surgió sobre una escena de desolación rara vez contemplada. Nos encontramos en seco y en altura en una pequeña ensenada, o más bien una indentación en la línea de costa.

Habíamos sido llevados unas 3 millas a lo largo de la costa y casi 2 millas tierra adentro. La ola nos había transportado sobre las dunas de arena que bordean el océano, a través de un valle y por encima de la línea del ferrocarril, dejándonos al pie de la cordillera de la costa. En el frente casi perpendicular de la montaña, nuestro navegante encontró las marcas del tsunami, y midiendo, determinó que se encontraba a 47 pies de altura, sin incluir la cresta. Si la ola nos hubiera acarreado 200 pies más allá, inevitablemente nos hubiéramos hecho pedazos contra el costado de la montaña.

Cerca de nosotros encontramos los restos de la gran barca inglesa "Chanacelia," que tenía una de sus cadenas de ancla enrollada a su alrededor, tantas vueltas como su largo le permitió, mostrándonos que ella se había dado vueltas muchas veces; un poco más cerca del mar yacía el buque peruano "América", desfondado; y la arena se encontraba cubierta con una masa heterogénea de restos valiosos: grandes pianos, fardos de seda, toneles de brandy, muebles, ropas, cuchillería; todo lo imaginable estaba allí.

Los temblores continuaban a intervalos irregulares, pero ninguno de ellos tan violento o largo como el primero; algunos de ellos, sin embargo, fueron lo suficientemente fuertes como para sacudir el "Wateree" sonando como una tetera vieja, y nos hizo abandonar el buque y acampar en una gran meseta, a unos 30 metros de altura, vigilando el buque y los naufragios. Desde allí tuvimos la oportunidad de observar los desastrosos resultados del terremoto en tierra. Encontramos en algunos sitios enormes fisuras, muchas de ellas de más de 30 metros de ancho y de profundidades desconocidas; otras eran simplemente grietas. Algunas se convirtieron en la tumba de los habitantes que arrancaban. Recuerdo un ejemplo de esto, cuando encontramos el cuerpo de una dama sentada sobre su caballo, ambos tragados mientras arrancaban por sus vidas. En Arica sólo encontramos desolación y muerte. Donde una vez estuvo esa hermosa ciudad, se ofrecía a nuestra vista una planicie arenosa.



B) RESUMEN DEL CAPÍTULO

- Un tsunami es una serie de ondas oceánicas de período largo y de largo de onda extremadamente grande, generadas por perturbaciones asociadas con terremotos que ocurren bajo o cerca del piso oceánico.
- Otras causas de los tsunamis son las erupciones volcánicas submarinas, los derrumbes costeros y las perturbaciones provocadas por el hombre, tales como explosiones atómicas bajo el agua.
- La velocidad de las ondas de tsunami depende de la profundidad del agua.
- La propagación de las ondas de tsunami está sujeta a las leyes de refracción y difracción.
- Las ondas de tsunami son además modificadas cuando se aproximan a la costa, debido a arrecifes y cordilleras submarinas, plataformas continentales, promontorios y bahías de variadas formas, y por la pendiente de la playa.
- La altura de un tsunami varía de un punto a otro a lo largo de una línea de costa.
- La esfericidad de la Tierra provoca convergencia de los rayos de las ondas provenientes de tsunamis generados a gran distancia.
- La destrucción causada por los tsunamis proviene principalmente del impacto de las ondas, de la inundación y erosión de las fundaciones de edificios, puentes y caminos.
- El objetivo operacional del Sistema de Alarma de Tsunami en el Pacífico es detectar y localizar los grandes sismos que ocurren en la Región del Pacífico, para determinar si ellos han generado tsunamis.

C) PREGUNTAS/PROBLEMAS

1. Describe un tsunami.
2. Explica cómo puede generarse un tsunami.
3. Explica las diferencias entre un tsunami generado por un derrumbe y un tsunami generado por un terremoto.
4. Describe las modificaciones que puede tener una onda de tsunami al viajar desde su zona origen.
5. Describe el Sistema de Alarma de Tsunami.

D) CUESTIONARIO DEL CAPÍTULO

A. Vocabulario. En los paréntesis del margen izquierdo coloca la letra que corresponda a una definición correcta:

- () 1. curvamiento de las ondas oceánicas
- () 2. distancia vertical entre el nivel del mar y la altura de inundación
- () 3. ondas superficiales de período largo
- () 4. tsunami producido por una erupción volcánica submarina
- () 5. interacción de ondas cilíndricas y radiales detrás de un rompeolas

- a. tsunami volcanogénico
- b. difracción
- c. refracción
- d. runup
- e. ondas Rayleigh
- f. Inundación

B. Selección Múltiple

Indica y marca la letra que mejor complete la frase o responda la pregunta.

1. Un tsunami es:
 - a) una onda de sonido
 - b) una onda generada por el viento
 - c) una monstruosa muralla de agua
 - d) varias ondas largas en el océano
2. La palabra tsunami significa:
 - a) ondas marinas
 - b) ondas en una bahía
 - c) temblor marino
 - d) ondas superficiales
3. Un tsunami puede ser causado por:

<ul style="list-style-type: none"> I sismos de gran magnitud II erupción volcánica submarina III derrumbe cerca de la costa IV explosión atómica 	<ul style="list-style-type: none"> a) sólo I y III son correctas b) sólo II y IV son correctas c) I, II y III son correctas d) todas son correctas
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
4. Los tsunamis son generalmente producidos en
 - a) cordilleras meso-oceánicas
 - b) placas en colisión
 - c) puntos calientes
 - d) volcanes escudos

5. Las ondas de tsunami son modificadas por:
 - a) la presión barométrica
 - b) la temperatura del agua de mar
 - c) la refracción
 - d) fuerzas hidrodinámicas
6. La difracción de ondas es:
 - a) un fenómeno óptico y acústico
 - b) un cambio en el período de las ondas
 - c) el regreso del nivel del mar a su posición normal
 - d) una deformación del fondo del mar
7. Una buena protección contra el impacto de los tsunamis proviene de:
 - a) una cordillera oceánica
 - b) barreras
 - c) arboledas
 - d) ninguno de los anteriores
8. El Sistema de Alarma de Tsunami difunde una Alarma de Tsunami en caso de:
 - a) un gran sismo
 - b) la generación de un tsunami
 - c) informes de los medios de comunicación
 - d) un huracán

