

**DECENIO INTERNACIONAL PARA LA REDUCCION  
DE LOS DESASTRES NATURALES**



# **T S U N A M I S**

EVACUACION DE LA POBLACION Y PLANES DE  
USO DEL SUELO PARA MITIGAR SUS EFECTOS

LOCALIDADES ESTUDIADAS EN EL PERU  
ENTRE 1981 Y 1994

PREPARADO Y EDITADO POR UNDHA/GENEVA, REVISADO  
Y PUBLICADO POR INDECI Y LA MARINA DE GUERRA  
DEL PERU.



LIMA - PERU  
OCTUBRE 1,994

## **PRESENTACION**

Este manual está dirigido a las autoridades responsables del bienestar de las poblaciones peruanas que habitan zonas costeras amenazadas por posibles tsunamis o maremotos, al magisterio y a la población en general. La orientación aquí ofrecida les permitirá conocer las características de este peligroso fenómeno y los aspectos del mismo que deben ser considerados para elaborar los planes de protección, y las medidas para mitigar sus efectos.

Con este objeto, el manual se ha estructurado en función de dos grandes rubros, la dinámica de:

- 1.-Reconocimiento de los tsunamis y cálculos básicos de sus parámetros más importantes.**
- 2.-Lineamientos para la elaboración de los planes de protección y medidas de mitigación contra tsunamis.**

En el primer rubro se ofrecen los principales avances científicos que deben ser de conocimiento público para actuar concientemente frente a la acción devastadora de los tsunamis: origen, clasificación, características, tiempo de llegada, «run-up», magnitud y factores que la afectan, criterios para estimar la altura de la ola en la costa, influencia de las mareas sobre la altura de la ola, delimitación de zonas inundables, importancia y empleo de los datos históricos.

Los conocimientos obtenidos de la lectura del primer rubro permiten establecer los datos y principios que deben ser considerados para establecer los lineamientos de planificación eficaz para la protección de la población. Se informa aquí sobre tipos de planes según el origen lejano o cercano del tsunami, informaciones necesarias para planificar, variables en los planes de emergencia o contingencia, plan de evacuación, zonas y tipos de refugio, rutas de evacuación y datos necesarios sobre la población que debe ser evacuada, identificación y ubicación de instalaciones críticas dentro de la zona inundable. Se aclara este rubro con ejemplos concretos sobre la preparación del Plan de Evacuación y su implementación, así como las autoridades responsables del control de su ejecución, rescatándose las conclusiones de un ensayo de evacuación realizado en el Callao. Se concluye con las medidas de mitigación y el plan de uso del suelo.

Esperamos que el estudio detenido y reflexivo de este manual y la crítica y meditada aplicación de sus lineamientos contribuya a diseñar y ensayar planes concretos de protección a la población y adoptar medidas de mitigación que, sin lugar a dudas se reflejarán en el crecimiento armónico, ordenado y confiado de las poblaciones peruanas que habitan costas de posible agresión por tsunamis.

Gral. de Brig. E.P. CARLOS TAFUR GANOZA  
Jefe del INDECI,  
Presidente del Comité Nacional para el DIRDN

## RESUMEN EJECUTIVO

Los **tsunamis**, aunque no muy frecuentes, cuando suceden en zonas costeras bajas, causan numerosas víctimas y daños catastróficos. Por ejemplo, en el Callao, el tsunami del 20 de octubre de 1687 dejó 300 víctimas, y el ocurrido el 28 de octubre de 1746 lo arrasó completamente; de 4,800 habitantes que tenía en esa fecha, sólo se salvaron 200.

Los tsunamis o maremotos, consisten en ondas marinas de período largo, entre unos 10 y 70 minutos, que no son percibidas en alta mar; pero al acercarse a las costas, la gran energía cinética que transportan se convierte en energía potencial y las olas pueden alcanzar grandes alturas. En Sanriku, Japón, con batimetría y topografía desfavorables, llegan a elevarse más de 30 metros sobre el nivel medio del mar. Para el Callao, se ha estimado que el «run-up», o altura del tsunami en tierra, sería entre 6 y 7 m. El origen más frecuente de los tsunamis son los sismos tectónicos que perturban el fondo de los océanos, transmitiendo energía de la litósfera a la masa de agua.

Entre 1981 y 1994 el suscrito dirigió las investigaciones, desarrolladas con algún detalle, sobre efectos de tsunamis en las costas de Lima Metropolitana entre el Callao y Pucusana. El tramo Callao - Ancón requiere profundización. Para estos estudios se contó con los auspicios de UNDRP (1989-90) y USAID (1987-89).

En el norte, los efectos de tsunamis sobre Paita y Talara, se estudiaron con los auspicios de JICA (1989-92) a través del CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. Trujillo fue estudiado como un proyecto FIC/UNI-Municipalidad de Trujillo (1994).

Finalmente, las localidades más importantes de la costa S-O del Perú, de los Dptos. de Tacna, Moquegua y Arequipa (1992-94) fueron estudiadas como parte del «Programa de Mitigación de Desastres en el Perú», que tiene como organismo ejecutor al Dpto. de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas con sede en Ginebra-UNDHA/Geneva y el Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. La financiación es proporcionada por el Gobierno de Canadá.

Los objetivos principales de los estudios realizados son:

-Proteger a la población mediante la preparación de planes de emergencia y realización de ensayos de evacuación.

-Lograr un crecimiento urbano ordenado y seguro de las zonas costeras bajas, inundables por tsunamis, y sus áreas aledañas.

Para lograr dichos objetivos, en los estudios se ha tratado de obtener los resultados siguientes:

-Delimitar las zonas inundables por tsunamis, indicadas en los mapas que se incluyen en este volumen.

-Estimar el tiempo de llegada de la primera ola del tsunami ( $T_t$ ) al punto de interés, después que ocurre el sismo de origen cercano que lo genera y, por lo tanto, sentido en dicho lugar.

Estos resultados son muy importantes; pues si se conoce el **área inundable**, se puede determinar qué población es necesario evacuar.

Se acostumbra a elegir como **refugio**, lugares cuya altura sea por los menos el doble del nivel que el tsunami alcanzaría en tierra o run-up. Las calles o caminos más directos que unen dichas zonas no son sino las **rutas de evacuación**, que deben estar libres de obstáculos, incluyendo en lo posible edificaciones que pudieran haber colapsado en el sismo ocurrido previamente. Por eso debe escogerse como rutas de escape aquellas bordeadas por edificios seguros. La característica principal de estas rutas es que siempre deben ganar altura.

El tiempo de llegada de la primera ola es vital para la preparación de los planes de evacuación. Es el tiempo que disponen las personas para abandonar la zona inundable.

Las personas deben saber que si un sismo es de gran magnitud, puede generar tsunamis. Esta magnitud se reconoce si el sismo es tan intenso que dificulta el caminar de las personas, puede ser percibido cuando se maneja vehículos motorizados, ocurren daños importantes en edificaciones y es de larga duración (unos 50 segundos o más). Concluido el sismo, el tiempo que se dispone para abandonar la zona inundable es la indicada como  $T_t$  en los planos que se incluyen más adelante.

Para el caso del Callao se han comparado 3 resultados:

-Trazado de curvas de refracción: 25 minutos.

-Del registro en el mareógrafo de la Punta del sismo y tsunami del 3 de octubre de 1974, cuyo epicentro estuvo justamente frente al Callao, la posición más desfavorable: 21 minutos.

-El tsunami del 28 de octubre de 1746 llegó al Callao 30 minutos después de ocurrido el terremoto.

$T_t$  Callao = 21 minutos

Para los otros lugares no se cuenta con mareogramas registrados ni información histórica precisa, por lo que para cada uno de los lugares estudiados, el tiempo se ha determinado del trazado de curvas de refracción. Los tiempos que se dispone para evacuar las zonas inundables están entre 5 minutos para Chala en Arequipa, y 21 minutos para el Callao. Con un buen plan de evacuación y ensayos frecuentes, se puede salvar a la población amenazada por tsunamis.

Los mapas de inundación por tsunami son esenciales para desarrollar buenos proyectos de planes de uso del suelo en zonas bajas amenazadas por dicho fenómeno. La franja más cercana al mar donde se producen severos efectos hidrodinámicos y de erosión, sólo debe destinarse

para actividades marinas y de recreación. La franja siguiente debe tener uso restringido; por ejemplo, zonas residenciales de baja densidad; pero de ninguna manera deben construirse allí hospitales, locales escolares, de espectáculos públicos, etc.

Los terrenos fuera del área de inundación, previa verificación de los efectos de otros fenómenos naturales, pueden usarse sin restricciones.

Las vías principales, las troncales de agua, teléfono, energía, etc. deben ubicarse fuera del área de inundación. En el caso de abastecimiento de agua debe entrarse a las zonas inundables con ramales secundarios, y controlados por válvulas; de tal manera que si se destruyen dichos tramos, el derrame de agua pueda ser controlado, para no restringir el esencial líquido al resto de la población.

Las informaciones incluidas aquí permitirán a las autoridades locales, encabezadas por el alcalde que es el jefe de Defensa Civil de la jurisdicción, preparar planes de evacuación y realizar ensayos; y hacer crecer, de manera organizada, a las comunidades que los eligieron, hacia zonas seguras y donde cueste menos construir. Se hace un llamado a los alcaldes cuyas jurisdicciones tienen costas bajas, que todavía no han sido estudiadas, para que conjuntamente con la UNI o universidades locales y Defensa Civil se puedan completar los estudios para toda la costa peruana.

Se agradece de manera especial a UNDR0, en la actualidad UNDHA/Geneva, Gobierno de Canadá, JICA, USAID, Municipalidad de Trujillo y a las numerosas personas que colaboraron en los estudios a lo largo de más de 12 años; en especial a los egresados de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, quienes con capacidad y diligencia desarrollaron sus tesis de grado profesional. La acertada y rápida toma de decisiones de las autoridades del INDECI y de la Marina de Guerra del Perú, facilitan la publicación de este volumen.

Ing. JULIO KUROIWA  
Asesor Técnico Principal  
«Programa de Mitigación de Desastres en el Perú» UNDHA/Geneva

# TSUNAMIS

TABLA DE CONTENIDO	PAG.
<b>I TSUNAMIS</b>	
❏ TSUNAMIS O MAREMOTOS	
❏ GENERACION TSUNAMIS Y SU CLASIFICACION POR LA DISTANCIA A SU ORIGEN	7
❏ CARACTERISTICAS DE LOS TSUNAMIS	9
❏ ESTIMACION DEL TIEMPO DE LLEGADA A LA COSTA DE UN TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO	11
❏ ALTURA DE OLA EN LA COSTA Y RUN-UP	
❏ MAGNITUD DEL TSUNAMI	12
❏ MAGNITUD DEL TSUNAMI (SEGUN IMAMURA)	
❏ FACTORES QUE AFECTAN LA MAGNITUD DEL TSUNAMI	13
-Magnitud del sismo y su profundidad focal	
-Area de la corteza terrestre que se disloca en el fondo del mar	
-Ruta de propagación del Tsunami	
-Variación direccional	
-Configuración de la bahía	
-Topografía de la zona inundada	
❏ INFLUENCIA DE LAS MAREAS EN LA ALTURA DE LA OLA	
❏ DELIMITACION DE LAS ZONAS INUNDABLES	14
❏ IMPORTANCIA DEL ESTUDIO HISTORICO DE LOS TSUNAMIS	16

## **II PROTECCION DE LA POBLACION Y MEDIDAS DE MITIGACION CONTRA TSUNAMIS** **PAG.**

MEDIDAS DE PREVENCION CONTRA TSUNAMIS DE ORIGEN LEJANO 17

MEDIDAS DE PREVENCION CONTRA TSUNAMIS DE ORIGEN CERCANO 18

PLANES DE EMERGENCIA

PLAN DE EVACUACION PARA CASOS DE TSUNAMIS 19

REFUGIOS

-Refugios Temporales

-Refugios de Emergencia

RUTAS DE EVACUACION 21

POBLACION POR EVACUAR E INSTALACIONES CRITICAS EXISTENTES EN LA ZONA INUNDABLE 22

PREPARACION DEL PLAN DE EVACUACION Y SU IMPLEMENTACION 23

LECCIONES DE UN ENSAYO DE EVACUACION 24

MITIGACION DE DESASTRES 25

**REFERENCIAS** 30

**ANEXO I** 31

INUNDACION POR TSUNAMIS. LOCALIDADES ESTUDIADAS 1981-1994

De norte a sur: Talara, Paita, Trujillo, Callao (dentro del texto), Villa (Chorrillos), Punta Negra, Punta Hermosa, Pucusana, Chala, Matarami (sólo es inundable la zona portuaria), Mollendo, Mejía, Ilo y Boca del Río . . .

## TSUNAMIS

### *TSUNAMIS o MAREMOTOS*

Son fenómenos marítimos, aunque poco frecuentes, espectaculares por la secuela de destrucción y pérdida de vidas humanas que causan. Consisten en trenes de ondas de período largo que llegan a las costas a intervalos de 10 a 70 minutos.

Pueden alcanzar grandes alturas: unos 30 m. en litorales con contornos y batimetría desfavorables, como las bahías en forma de V o U, que concentran energía hidráulica en sus vértices. En cambio, en alta mar, la altura de ola es apenas de unos decímetros y la separación entre cresta y cresta, llamada longitud de onda, puede tener desde varias decenas de kilómetros hasta unos 200 Km., y pasa sin ser percibida por los navegantes. En alta mar, el tsunami es como un acordeón extendido, y cerca a las costas como un acordeón cerrado.

Se cuentan casos de pescadores japoneses, que, al regresar de realizar su faena en alta mar, se han encontrado con la sorpresa de ver sus villorrios destruidos por tsunamis. Es por esto que su nombre de origen japonés, se ha popularizado internacionalmente. En dicho idioma, **Tsu**, significa puerto y **nami**, ola. Literalmente, pues, significa grandes olas en el puerto; describiendo con una sola palabra la característica más importante del fenómeno: no causa daños en alta mar, pero es destructivo en las costas

Los tsunamis han causado muchas víctimas en ciertas zonas del Pacífico como en Sanriku, Japón, donde sismos originados frente a sus costas, y la batimetría y topografía desfavorables, han generado olas de más de 20 m. sobre el nivel medio del

mar, causando la muerte de 20,000 personas en 1896, y 3,000 en 1933. El Callao, Perú, fue arrasado por un tsunami en octubre de 1746, que causó la muerte del 96% de sus habitantes, ya que de 4,800 personas, sólo se salvaron 200. El terremoto y tsunami generados frente a las costas de Chile en 1960, causaron más de 1,000 víctimas en ese país, en Hawái, Sanriku y otros lugares ubicados al otro lado del océano Pacífico

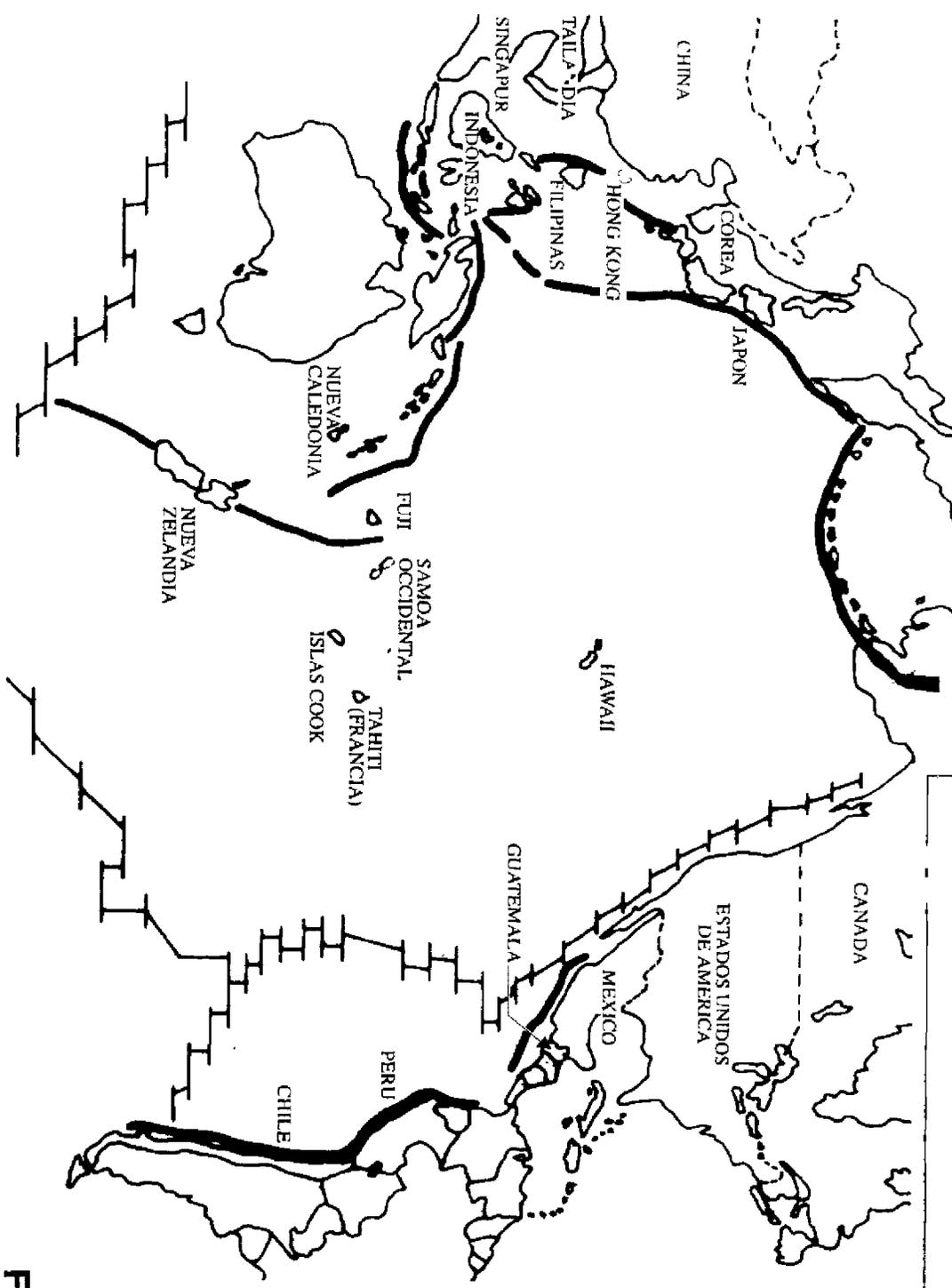
### *GENERACION TSUNAMIS Y SU CLASIFICACION POR LA DISTANCIA A SU ORIGEN*

Los tsunamis pueden ser generados: por sismos de origen tectónico, por grandes erupciones de islas volcánicas o por derrumbes marinos o superficiales.

-La gran mayoría de tsunamis son generados por levantamientos o hundimientos de los fondos oceánicos causados por sismos de origen tectónico. Grandes extensiones del fondo oceánico, que se asume tienen forma elíptica alargada, con el eje mayor coincidente con la dirección general del sistema de fallas, actúan como un enorme émbolo levantando grandes volúmenes de agua. La energía así transmitida desde la litósfera a la masa de agua se irradia en todas direcciones. A diferencia de las olas generadas por los vientos que sólo mueven partículas superficiales, los tsunamis remueven masas de agua profundas.

-Aunque en un porcentaje mucho menor, los tsunamis pueden ser también generados por grandes erupciones de islas volcánicas como el caso del Cracatoa, en Indonesia, que causó unas 30,000 muertes en las cercanas

**ZONAS DE SUBDUCCION DE MAYOR OCURRENCIA DE SISMOS TSUNAMIGENICOS EN LA CUENCA DEL PACIFICO**



**FIG. 1**

islas de Java y Sumatra; y sus efectos fueron registrados por mareógrafos en el océano Atlántico.

-También pueden generarse por derrumbes submarinos o superficiales; como ocurrió durante el terremoto de Alaska de 1964, cuando un derrumbe generado por el sismo causó un gran deslizamiento en una bahía. Su lado opuesto fue invadido por olas de gran altura causando muerte y destrucción. A los tsunamis de este tipo se les llama de **origen local**.

La mayoría de los tsunamis son:

-de **origen cercano**, cuando se generan desde decenas hasta unos pocos centenares de kilómetros del punto de observación; y

-de **origen lejano o transoceanicos**, si el tsunami se genera a miles de kilómetros de distancia; muchas veces al otro lado de los océanos.

### CARACTERISTICAS DE LOS TSUNAMIS

Por tratarse de trenes de ondas marinas, se pueden caracterizar por su período, altura de onda, longitud de onda y velocidad de propagación, que son atributos comunes a

ellas.

**Período:** T, se define como el tiempo que transcurre entre el paso de dos ondas sucesivas por un mismo punto de observación. Para tsunamis de origen cercano, el período es de unos 7 a 30 minutos; y para los de origen lejano, entre 30 a 70 minutos.

**Altura de onda:** H, es la distancia vertical entre el seno o valle y la cresta, mientras el tsunami se dirige a tierra.

**Longitud de onda:** L, es la distancia que separa a dos crestas sucesivas. Se estima que la longitud de onda inicial es aproximadamente igual a la dimensión mayor del área dislocada.

**Velocidad de propagación:** V. La velocidad de propagación del tsunami es igual a:

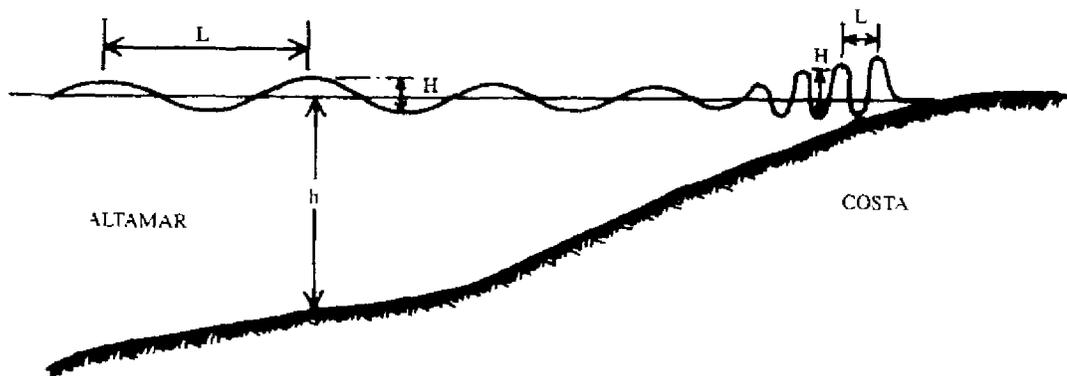
$$V = \sqrt{gh...}$$

donde:

V = Velocidad, en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad (9.8m/seg<sup>2</sup>), constante.

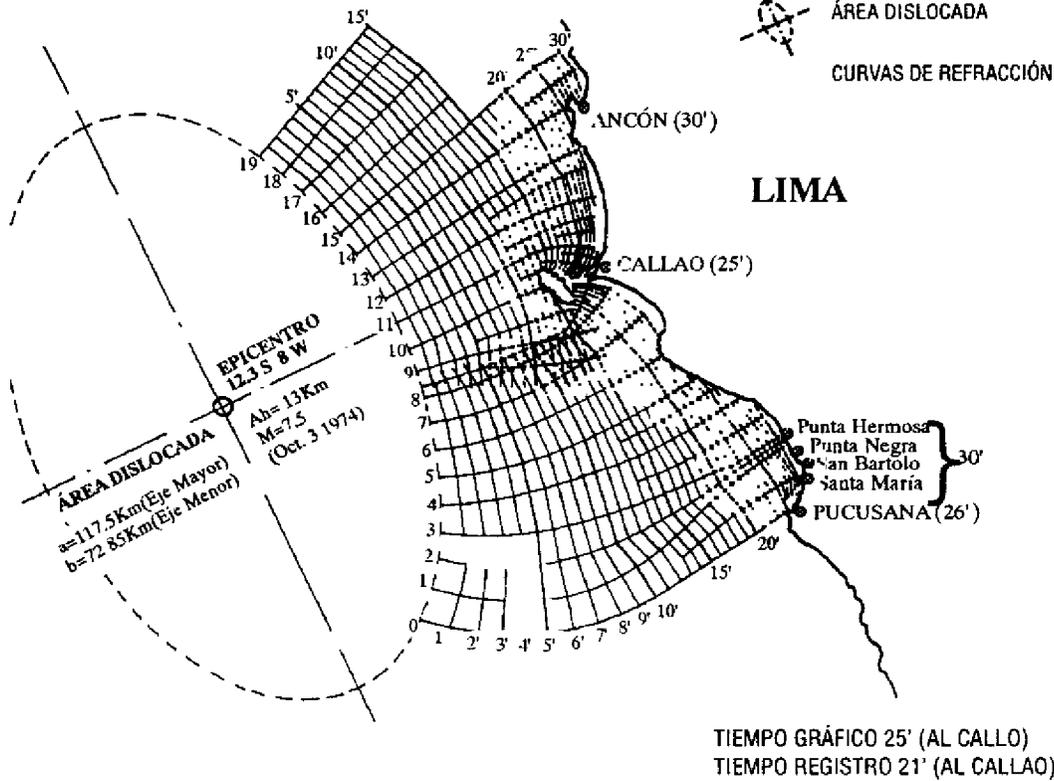
h = Profundidad del océano, en metros.



**TSUNAMI EN ALTA MAR Y EN LA COSTA**

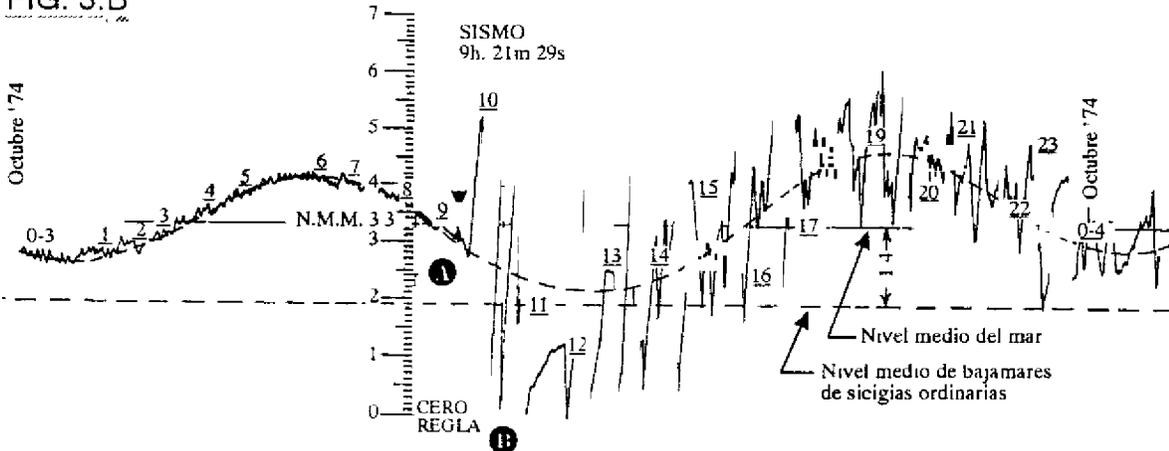
**FIG. 2**

FIG. 3.A



**DHNM  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA**

FIG. 3.B



**DIAGRAMA DE REFRACCIÓN  
TSUNAMI DEL 3 DE OCTUBRE  
DE 1974**

FIG. 3

REGISTRO DEL MAREOGRAFO → LA PUNTA (CALLAO)

Puede observarse que la velocidad de propagación del tsunami es función solamente de la profundidad del sector del océano por el cual viaja. Por ejemplo, un tsunami que atraviesa una parte del océano donde la profundidad es de 4,000 m., tendrá una velocidad de 200 m/seg. o 720 Km/H. Si asumimos como profundidad promedio del océano Pacífico la mitad de la profundidad máxima que es 11,022 m., es decir, 5,511 m., el tsunami viajaría a 837 Km/H; velocidad similar a la de un avión jet.

Si se considera la ruta de propagación del tsunami conformada por tramos de profundidad constante (escalones), es posible calcular el tiempo de viaje con acertada precisión. Se puede realizar este cálculo resolviendo gráficamente la duración de propagación de ondas, o mediante métodos numéricos, basados en la aplicación de la teoría de elementos finitos y empleando computadoras electrónicas.

Como la velocidad del tsunami es mayor en un mar profundo que en un mar superficial, cuando el tsunami viaja en un mar de profundidad variable, la dirección de propagación gira gradualmente hacia la zona menos profunda. Este fenómeno se denomina «Refracción de ondas», y en su tratamiento se aplica la Ley de Snell, de la Óptica.

### ***ESTIMACION DEL TIEMPO DE LLEGADA A LA COSTA DE UN TSUNAMI DE ORIGEN CERCANO***

El tiempo de llegada de la primera ola a la costa, es el lapso que transcurre entre el sismo, sentido en el lugar de observación, y la llegada de la primera ola del tsunami a ese punto. Este dato es básico para planificar

la evacuación, pues es el tiempo que se dispone para retirar a la población de la zona inundable.

El método más directo y simple para estimar dicho tiempo es mediante cálculos gráficamente. Asumiendo que el tsunami se origina por el levantamiento o hundimiento de un émbolo de forma elíptica, cuyo tamaño depende de la magnitud del sismo; desde el borde de dicha elipse, se calcula los frentes de ondas espaciadas 1 minuto, hasta que estas curvas, llamadas de refracción, llegan a la costa. El mínimo tiempo, o sea la condición más crítica, se obtiene si se ubica el centro de la elipse justo frente al punto de interés de la costa. Ver Fig. 3a. Para el Callao, los cálculos según este método indican un tiempo de 25 minutos.

Estudios de informaciones históricas también proporcionan valiosos datos. Por ejemplo, el sismo del 28 de octubre de 1746 ocurrió a las 10:30 p.m., y la primera ola llegó al Callao a las 11:00 p.m., es decir el tiempo fue de 30 minutos.

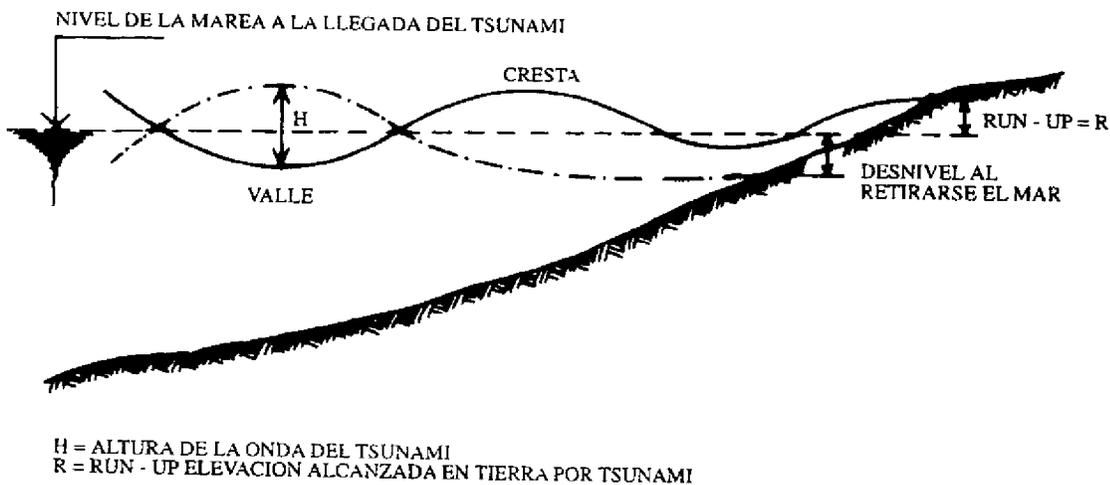
Cuando se tienen instalados instrumentos en la costa, en el mareograma queda marcada la hora de ocurrencia del sismo, así como la hora en que el nivel del mar comienza a elevarse o descender de manera continua, indicando que la primera ola ha llegado. Por simple diferencia se puede obtener el tiempo de llegada de la primera ola. En el mareograma de la Fig. 3b, obtenida en La Punta - Callao el 3 de octubre de 1974, se puede observar que la marca del sismo es a las 9h 21m, y la primera ola arribó a las 9h 42m, lo que da un tiempo de viaje de 21 minutos.

Con estos resultados se ha planificado el plan de evacuación del Callao.

## ALTURA DE OLA EN LA COSTA Y RUN-UP

Mientras el tsunami viaja en alta mar, lejos de las costas, la altura de ola está dada por la diferencia de nivel entre el valle y cresta. Pero, al llegar a la costa, desde el punto de vista práctico, lo importante es la altura que el tsunami alcanza sobre el nivel medio del mar. El viaje del tsunami no se

interrompe en la orilla sino que penetra en tierra, avanzando todo lo que las condiciones topográficas y de fricción del suelo de la zona le permitan. Se conoce como **Run-up** la cota topográfica máxima (referida al nivel medio del mar) alcanzada por la inundación. Ver Fig. 4.



### ALTURA DE OLA Y RUN - UP

**FIG. 4**

### MAGNITUD DEL TSUNAMI

La magnitud de un tsunami se mide por la altura máxima de la ola y la destrucción que causa en la costa.

Se incluye a continuación la escala propuesta por el profesor Imamura, quien la dedujo observando los efectos de tsunamis en las costas japonesas; sobre todo en

Sanriku, donde debido a la desfavorable combinación de batimetría y topografía, las olas son excepcionalmente altas. Por esta razón, para la costa occidental de Sudamérica y Centroamérica la escala es aplicable con reserva, debiéndose tener muy en cuenta las condiciones locales, en lo referente a altura máxima de la ola.

## MAGNITUD DEL TSUNAMI (SEGUN IMAMURA)

Magnitud del Tsunami (m)	Altura máxima de la ola (mts)	Descripción de los daños
0	1 a 2	<input type="checkbox"/> No se producen
1	2 a 3	<input type="checkbox"/> Se inundan las casa. Las de madera sufren daño. Botes arrastrados y/o destruidos
2	4 a 6	<input type="checkbox"/> Edificaciones de madera, embarcaciones y personas son arrastradas
3	10 a 20*	<input type="checkbox"/> Graves daños a la largo de la 400 Km de costa.
4	Más de 30*	<input type="checkbox"/> Graves daños a la largo de más de 500 Km. de costa

\*Nota del autor: Estas alturas se alcanzarían si se tienen aguas profundas cerca de la costa, y los vértices de bahías en forma de U, V, W.

### **FACTORES QUE AFECTAN LA MAGNITUD DEL TSUNAMI**

La magnitud del tsunami, y por lo tanto su poder destructivo, dependen de varios factores:

#### **-Magnitud del sismo y su profundidad focal**

Es raro que sismos de magnitud menor que 7, y profundidades focales mayores que 50 Km. produzcan tsunamis destructivos.

#### **-Area de la corteza terrestre que se disloca en el fondo del mar**

Esto depende de la velocidad de dislocación y de la manera en que se deforma el fondo oceánico: una zona extensa a la vez, o progresivamente.

#### **-Ruta de propagación del Tsunami**

Es decir, el efecto de la batimetría del fondo oceánico; cuyos accidentes pueden constituir obstáculos o causar la convergencia de la energía de las ondas.

#### **-Variación direccional**

En Japón se ha podido observar que influye de manera importante en la altura de la ola en tsunamis de origen cercano, el ángulo que forma el eje de la bahía con respecto a la dirección de origen del tsunami. Los efectos son mayores en las bahías que se abren directamente hacia el origen del tsunami.

### **-Configuración de la bahía**

La configuración de la bahía modifica la altura del tsunami, elevándola considerablemente si se trata de bahías que se angostan en forma de U, V o W en zonas de costas altas.

### **-Topografía de la zona inundada**

Si el terreno tiene poca pendiente y no presenta accidentes, el tsunami invade la zona de manera más o menos uniforme. Con mayor o menor violencia si se trata de tsunamis de período corto o largo, respectivamente. Conforme se incrementa la pendiente del terreno, disminuye tanto la altura de ola como su velocidad de propagación; pero cuando la masa de agua vuelve al mar tiende a ganar velocidad, causando fuerte erosión. Si hay franjas de terreno de bajo nivel que dan frente al mar, por ejemplo la desembocadura de un río seco, el tsunami se canaliza a través de ellas, pudiendo avanzar grandes distancias tierra adentro.

## ***INFLUENCIA DE LAS MAREAS EN LA ALTURA DE LA OLA***

Las mareas son movimientos periódicos y alternativos de ascenso y descenso del mar (pleamar y bajamar, respectivamente), producidos por la atracción gravitacional que sobre la Tierra ejercen el Sol y la Luna principalmente, y también, por la aceleración de su rotación. Las mareas de mayor altura (Sicigias) se producen en Luna llena y Luna nueva, cuando el Sol y la Luna entran en conjunción, es decir, se ubican en el mismo cuadrante, sumándose los efectos de atracción de ambos astros sobre la masa de agua.

Las mareas pueden ser diurnas, si hay una pleamar por día, y semi-diurnas si son 2 pleamares cada 24 horas. En el litoral peruano ocurre el segundo caso, y las mareas altas se inician en el Norte, Talara, y se propagan

hacia el Sur, llegando a Ilo en unas 4 horas.

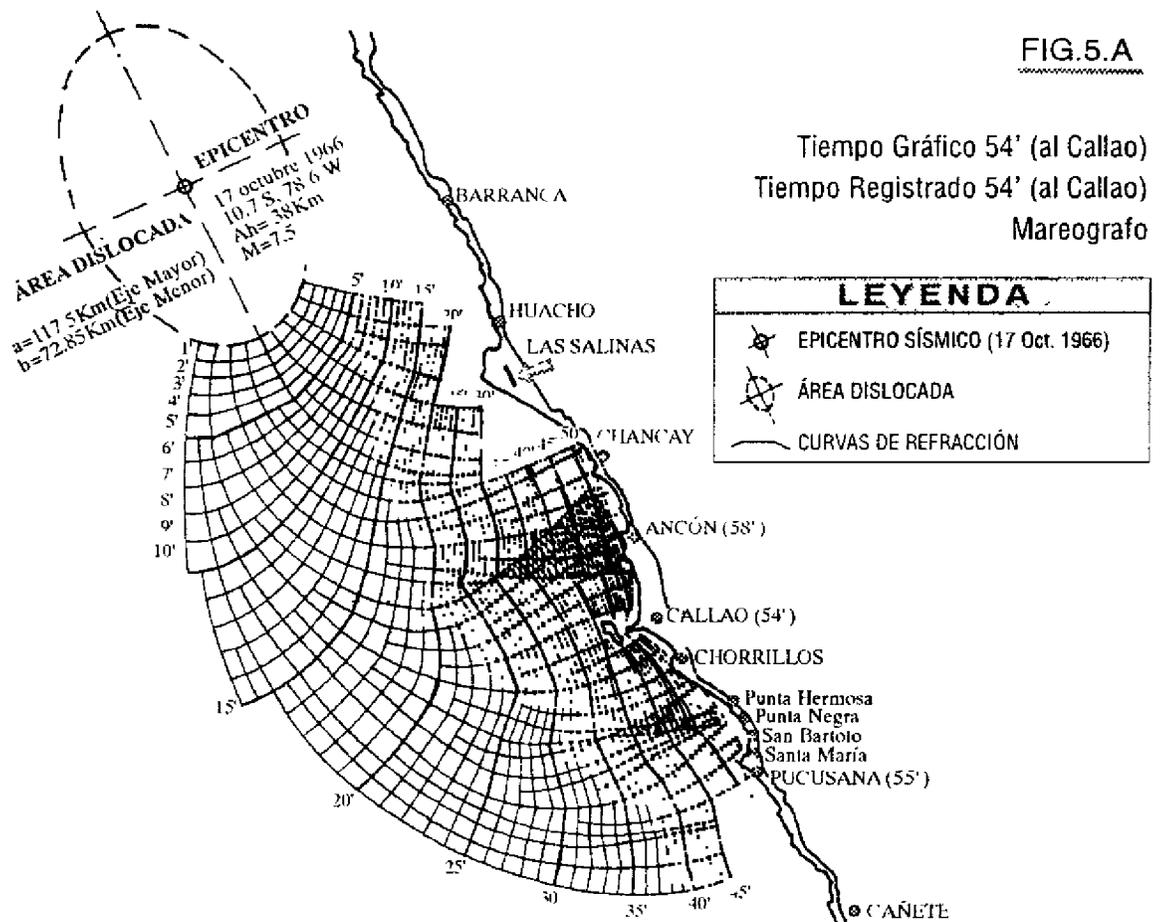
El nivel del mar, al momento del tsunami, influye en la altura de la ola, y por lo tanto, en la extensión de la inundación y daños provocados. Por ejemplo, el registro del mareógrafo de La Punta correspondiente al tsunami del 17/10/1966, muestra que al llegar éste a la costa y durante las 4 horas siguientes la marea era alta. Durante este tiempo arribaron la 5ta. y 6ta. olas que fueron las de mayor altura; la 6ta. saturó el límite de registro del mareógrafo, superando los 4 m., s.n.m.m.. Ver Fig. 5b. En cambio, el tsunami del 3/10/1974 arribó a la costa cuando la marea descendía, y la ola de mayor altura sobre la marea (unos 3 metros) se produjo cuando el nivel del mar estaba casi un metro por debajo de su nivel medio; así, la altura máxima de ola de este tsunami fue de solo 2 m. s.n.m.m.. Ver Fig. 4b. Si la marea hubiera tenido signo contrario (+1), la ola hubiera tenido 4 m. s.n.m.m. y hubiera causado daños.

## ***DELIMITACION DE LAS ZONAS INUNDABLES***

El comportamiento en tierra de los tsunamis es bastante complejo, porque influyen sobre él varios factores que se conjugan de diversos modos. Sin embargo, la batimetría y sobre todo, la topografía, son informaciones básicas que permiten delimitar las zonas inundables con cierto nivel de confianza.

En este sentido, las observaciones efectuadas en Japón, Hawai, Alaska y California sobre zonas inundadas por tsunamis aportan valiosas experiencias. En los lugares mencionados, en muchas ocasiones, las zonas inundadas han coincidido con la curva topográfica cuya cota es aproximadamente igual a la altura de ola del tsunami en la costa. Por ejemplo, Magoon indicó que el tsunami de

FIG. 5.A



**DHNM  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA**

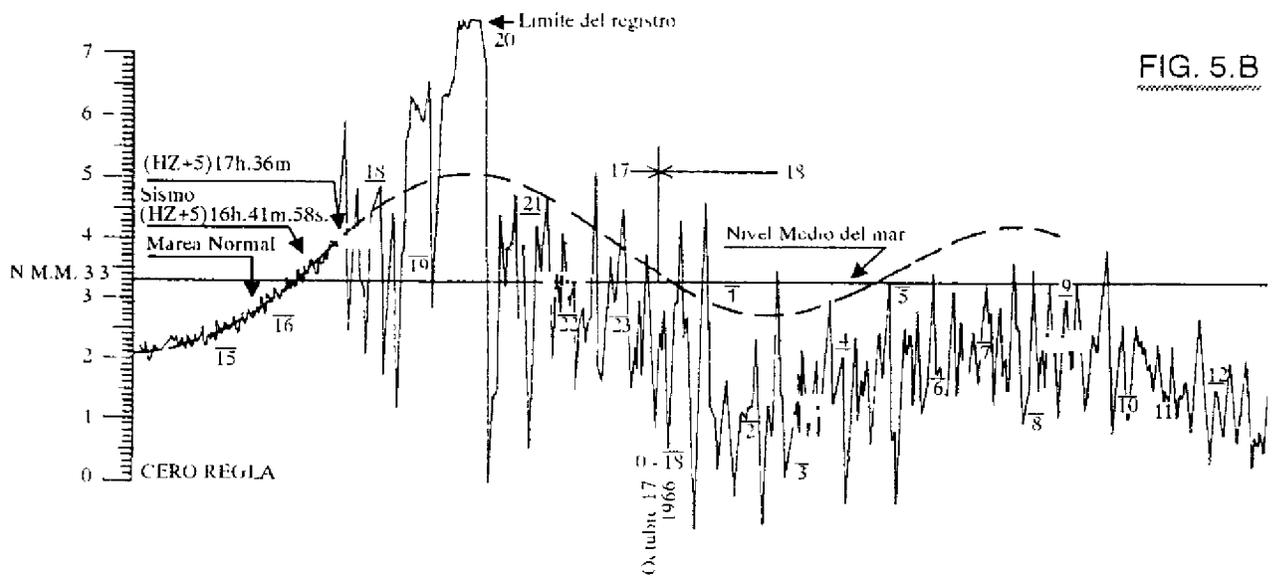


FIG. 5.B

**DIAGRAMA DE REFRACCION  
TSUNAMI CALLAO, 17 DE OCTUBRE  
DE 1,966 ONDA SÍSMICA MARINA  
ORIGINADA POR EL TERREMOTO  
(EN PATIVILCA) 3 DIAS DE  
OSCILACION MAREOGRAFO**

FIG. 5

Alaska de 1964 tuvo en Crescent City, California, una altura máxima de 6 m. s.n.m.m. a lo largo de apreciable longitud de costa, y que la línea de inundación máxima producida por el tsunami (Run-up) siguió generalmente la línea topográfica de esa elevación.

De lo anterior puede concluirse que, un estimado inicial de la zona inundable por el tsunami abarca hasta la cota del terreno cuya altura es igual a la altura de ola en la costa. Pero este cálculo debe ajustarse, por efectos de la pendiente del terreno y la posible convergencia o divergencia del frente de onda causada por la topografía.

En costas rectas, de pendiente uniforme y con poca rugosidad del suelo, en general se asume que la altura de ola decrece en 1%. Es decir, por cada 100 mts. que avanza horizontalmente, pierde 1 m. de altura. Por ejemplo, si la ola tiene en la costa 6 m. de altura, ella penetrará 600 m. tierra adentro.

Si el suelo es muy rugoso o presenta muchos obstáculos como árboles y construcciones, se acostumbra a considerar 2% de reducción.

Hay que tener especial cuidado con zonas bajas que penetran gran distancia tierra adentro; como el lecho de un río seco, por donde el agua puede avanzar grandes distancias.

### ***IMPORTANCIA DEL ESTUDIO HISTORICO DE LOS TSUNAMIS***

El registro histórico, vale decir la recopilación de documentos y depuración de relatos de tsunamis ocurridos y que afectaron a poblaciones costeras, constituye un arma muy útil para evaluar los posibles efectos que un futuro tsunami puede ocasionar en dichos lugares, y para orientar los pensamientos y acciones de los pobladores, antes y después de que ocurra cada evento. Desde el punto

de vista de la protección de la población y planificación urbana, esto último es singularmente importante.

El registro histórico proporciona algunas veces:

- El tiempo de llegada de la primera ola a la costa

- La altura de ola, y el registro de los límites de las inundaciones y los tipos de construcciones que fueron destruidas, para algunas localidades; asimismo,

- La magnitud de los sismos tsunamigénicos ocurridos en la zona, los epicentros de dichos sismos, y la profundidad focal de los mismos.

En consecuencia, es posible estimar:

- La zona sísmicamente activa y potencialmente tsunamigénica

- Las características de los sismos tsunamigénicos que ocurren en ella

- El tiempo mínimo de llegada

- La altura máxima de ola, y los tipos de construcciones que tienen características resistentes a los tsunamis, y las que deben proscribirse; como las edificaciones de madera sin anclaje a la cimentación, que son fácilmente arrastradas y destruidas.