

Sobre los tsunamis

Conceptos. Daños de un gran sismo y tsunami. Planeamiento frente a tsunamis. Género y edad en daños por tsunamis.

Conceptos

Referencia

Julio Kuroiwa H. (UNI, Lima, Perú). *Tsunamis. Efectos sobre las costas de Lima Metropolitana*. Auspiciado por la Oficina de Naciones Unidas para la atención de desastres, UNDRO. Ginebra y Lima, 1983.

El **tsunami** o **maremoto**, es un fenómeno marítimo que puede entenderse como una secuencia de ondas que se desplazan en todas las direcciones a gran velocidad, desarrollándose o mitigándose según los elementos de encuentro, y arriban a la costa donde suelen atacar con gran violencia. La palabra japonesa **tsu-nami**, significa literalmente **ola en la bahía**.

Se distinguen **causas naturales y artificiales**. Entre las naturales, se destacan los terremotos de gran magnitud de origen tectónico producidos al fondo del mar. Otros, son generados por erupciones volcánicas acompañadas de grandes explosiones. También pueden ser originados por deslizamientos de grandes masas costeras que caen al mar. Las avalanchas submarinas son también una causa natural probable.

La causa artificial más importante es la realización de pruebas atómicas o nucleares en la superficie del mar.

♦ Características del tsunami

Corresponden a aquellas de las secuencias de ondas.

Periodo T, tiempo que transcurre entre el paso de dos ondas sucesivas desde el mismo punto de observación. Desde el punto de vista de la población, es entendido como el intervalo de ataque de olas sucesivas.

Altura de onda H, es la distancia vertical entre el seno o valle y la cresta. Durante la propagación influye la configuración del fondo oceánico, y cerca de las costas, la geometría de la bahía, y el periodo natural de la misma.

Longitud de onda Se calcula con $L=VT$, donde V es la velocidad de propagación. En alta mar, el tsunami es difícilmente percibido por su gran longitud y pequeña altura de onda.

Velocidad de propagación Se calcula con los principios de la hidrodinámica. Bajo una serie de supuestos, se aproxima con $V=(gh)^{1/2}$. Donde g es la aceleración de la gravedad, y h la profundidad del océano. De esta manera, V resulta ser función de la profundidad del fondo por el cual viaja.

Se dispone de distintas aproximaciones para calcular el tiempo de llegada de un tsunami de origen cercano. Igualmente, para estimar la energía del tsunami.

♦ La ola en la costa

H = ES LA ALTURA DE ONDA DEL TSUNAMI

R = ES LA ELEVACION ALCANZADA EN TIERRA POR EL TSUNAMI



Al llegar a la costa, es de interés la altura que la onda alcanza en relación con el nivel medio del mar. La cota topográfica máxima, que define la inundación, depende también de las condiciones topográficas de la zona de encuentro.

♦ Magnitud del tsunami

Recomendando reserva en su uso, la referencia cita la escala de Imamura para la magnitud de un tsunami, la misma que es función de la altura máxima de ola y los daños que ocasiona en la costa.

Magnitud referencial del tsunami, según Imamura

Magnitud del tsunami	Altura máxima de la ola, m	Daños que ocasiona
0	1 a 2	No se producen
1	2 a 3	Se inundan las casas. Las de madera sufren daños. Botes arrastrados o destruidos.
2	4 a 6	Son arrastradas edificaciones, embarcaciones y personas.
3	10 a 20	Graves daños a lo largo de 400 km de costa
4	Más de 30	Graves daños a lo largo de más de 500 km de costa.

El poder destructivo del tsunami está asociado a factores como los siguientes.

Magnitud del sismo y su profundidad focal La magnitud del sismo se relaciona con la energía liberada, y propiamente, con el trabajo total efectuado por el sismo en el área afectada.

Área de la corteza terrestre que se disloca en el fondo del mar

Tomando en cuenta la forma (rápida o progresiva) y velocidad de dislocación.

Ruta de propagación del tsunami Relativo a la batimetría del fondo del mar, pudiendo presentar obstáculo o facilitar su conducción a la costa.

Variación direccional Siendo importante el ángulo que forma el eje de la bahía con respecto a la dirección de origen del tsunami, con mayor incidencia en bahías abiertas.

Configuración de la bahía La altura del tsunami se eleva en bahías que se angostan (en forma de U, V, o W).

Periodos del agua y tsunami La coincidencia entre el periodo natural de vibración de la masa de agua y el periodo del tsunami que ingresa a la bahía, puede incrementarse significativamente la altura de la ola.

Topografía de la zona inundada Con terreno de poca pendiente y sin accidentes, el tsunami invade la zona de manera uniforme (incrementando su violencia en el caso de ser de periodo corto). Al aumentar la pendiente del terreno, disminuye la altura de la ola y su velocidad, pero gana velocidad al volver al mar. En franjas de terreno de bajo nivel frente al mar, el tsunami se canaliza a través de ellas, alcanzando grandes distancias interiores.

Daños de un gran sismo y tsunami

Referencia

Hemant B. Kaushik and Sudhir K. Jain (Indian Institute of Technology Kanpur, India). *Impact of Great December 26, 2004 Sumatra Earthquake and Tsunami on Structures in Port Blair*. Journal of Performance of Constructed Facilities. Vol 21, N° 2, April 1, 2007. ASCE.

El artículo reporta los efectos del gran sismo y tsunami de Sumatra (26 de diciembre del 2004) en y alrededor de Puerto Blair (la capital de las islas Andaman y Nicobar, en la India). Estos eventos causaron daños sustanciales en estructuras de edificios, puertos, tanques de agua, torres de control y otros. Otras estructuras importantes como presas, puentes, o hangares, sufrieron daños menores sin interrumpir su funcionamiento. Las estructuras de concreto armado fueron las de peor comportamiento, mientras que aquellas tradicionalmente construidas con madera y las estructuras de albañilería tuvieron una buena respuesta frente al sismo. Los Estándares de la India no se cumplieron en el diseño de muchas estructuras recientes de estas islas, localizadas en la zona sísmica más severa del país.

Introducción

Las islas se encuentran en la zona V del código de la India, la cual es la más severa en términos sísmicos. El gran sismo de diciembre del 2004, causó gran daño en Puerto Blair con intensidad máxima de VII en la escala MSK. La actividad de las placas tectónicas fue considerada la responsable de este evento, que ocasionó que varias partes del Puerto quedaran sumergidas por el mar en 0.9 a 1.2 m.

El sismo en cuestión ocasionó 187 mil personas muertas y 43 mil desaparecidas en toda su área de influencia. Su magnitud fue del orden de 9.

Construcciones históricas

Las primeras construcciones que cita el estudio corresponden al siglo XVIII en la época del dominio británico sobre las islas, destacando en el siguiente siglo la cárcel construida a raíz de una revuelta por la independencia. Su construcción demandó ocho años, y fue utilizada albañilería de ladrillo sólido. En 1941, los japoneses ocuparon las islas construyendo bunkers y otros establecimientos militares, usando ladrillo. De ese tiempo son también las construcciones de madera.



CONSTRUCCIONES TRADICIONALES SIN DAÑAR

Después de la independencia en 1947, las islas se convirtieron en base naval, y posteriormente en un famoso destino turístico. Por razones ambientales se restringió el uso de madera en las construcciones, que en adelante fueron de concreto armado, con gran auge en los años 90.

Comportamiento de las edificaciones de albañilería y madera

Las pocas estructuras de albañilería en Puerto Blair, se comportaron muy bien durante el sismo. Un templo construido en 1930, de un solo piso, no sufrió ningún daño. Igualmente, una mezquita construida en 1913, de 20 m de alto y 22 por 32

m en planta. Había sido reforzada después de 1941 con varillas de anclaje. Las construcciones tradicionales de madera se comportaron muy bien bajo el sismo, y sólo algunas de ellas sufrieron daños menores.

Comportamiento de edificios de concreto reforzado



Edificación de 50 años en madera, sin dañar



Edificación nueva de concreto reforzado, dañada

COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ENTRE UNA EDIFICACIÓN ANTIGUA Y OTRA NUEVA

Fueron observados varios daños en edificaciones residenciales, comerciales y de gobierno, construidas en concreto reforzado, de dos y tres pisos. Una oficina de la Marina, construida en madera, fue abandonada antes del sismo debido a la construcción de otra en concreto armado. La de madera, no sufrió daño alguno, mientras que la nueva, tuvo varios daños importantes.

En las construcciones recientes, fueron identificadas varias deficiencias.

Deficiencias más comunes



FALLAS POR PRIMER PISO ABIERTO



Piso débil o blando

Es práctica común que las construcciones cuenten con estacionamiento en el primer piso, dejando grandes espacios abiertos. Varias de ellas han sufrido daños severos, evidenciando deficiencias en el diseño y carencia de ductilidad.

Deficiente diseño de corte en columnas

El refuerzo para corte lateral en las columnas resultó muy ligero, y éstas sufrieron daños extensivos de corte, conduciendo al pandeo de las varillas longitudinales y a la ruptura del concreto.

Efectos de columnas cortas

Resultan para facilitar la ventilación a través de ventanas, con muros que dejan columnas libres cortas,

demandando fuertemente el corte en las mismas. Varias de ellas sufrieron daños importantes.

Desplazamiento de albañilería confinada Esto no ocurre cuando la albañilería está bien confinada. Sin embargo, ocurrió este tipo de fallas evidenciando mala calidad de la albañilería e inadecuada unión con las columnas.

Edificios contiguos La escasa separación entre edificios vecinos, y los desplazamientos laterales desiguales de los mismos, provocaron choques entre ellos y daños en losas, columnas y muros de rellenos.

Daños en la bahía

Las estructuras en la bahía fueron fuertemente dañadas debidas al sismo y al subsecuente tsunami. Algunas colapsaron. Aquellas perpendiculares o inclinadas respecto a la playa fueron las que sufrieron más daños, mientras que las localizadas paralelas al litoral sufrieron poco daño. El terminal de pasajeros y otros edificios sufrieron diferente tipo de daño.

Otras estructuras

Las dos presas de gravedad en la zona son de concreto, y sufrieron pocos daños. Algo mayor ocurrió en una presa de tierra. De otra parte, los tanques elevados sufrieron varios daños, algunos de consideración.

Planeamiento frente a tsunamis

Referencia

Zhenghong Tang, Michael K. Lindell, Carla S. Prater, and Samuel D. Brody (Texas A&M University, Texas). *Measuring Tsunami Planning Capacity on U. S. Pacific Coast*. Natural Hazards Review. Vol 9, N° 2, May 1, 2008. ASCE.

El estudio tiene el propósito de indagar si las poblaciones costeras en el Pacífico de Estados Unidos, cuentan con planes que incluyan la gestión de riesgos frente a tsunamis. Se analizaron los planes de 43 condados costeros en los estados correspondientes. La calidad del plan se evaluó a través de **cinco componentes y 37 indicadores**. Pocos condados han preparado bien sus planes. La valoración promedio es de 12.25 frente a 50 puntos posibles. 10 condados no mencionan los riesgos frente a tsunamis.

Protocolo frente a gestión de riesgos ante tsunamis

Protocolo codificado

Categoría	Indicadores
Hechos básicos	Identificación de riesgos de tsunamis y probabilidad de ocurrencia. Características sísmicas y geológicas, locales y regionales. Registros de experiencias históricas. Delineación de las áreas de riesgos de tsunamis. Mapas de inundación de tsunamis.

Protocolo codificado

Categoría	Indicadores
Objetivos y metas	<p>Población vulnerable afectada.</p> <p>Infraestructura y facilidades vulnerables afectadas.</p> <p>Necesidades para futuras investigaciones.</p> <p>Protección segura de la población.</p> <p>Reducción del daño a la propiedad.</p> <p>Minimización del impacto socio económico.</p>
Política, instrumentos, y estrategias	<p>Usos permitidos del terreno.</p> <p>Zonificación sísmica y costera.</p> <p>Zonas de protección.</p> <p>Códigos de control de edificaciones.</p> <p>Organización y procedimientos de respuesta.</p> <p>Sistemas de alerta y monitoreo de tsunamis.</p> <p>Sistemas de evacuación de emergencia.</p> <p>Preparación de facilidades críticas.</p> <p>Revisión de riesgos ambientales.</p> <p>Legislación sobre tsunamis.</p> <p>Comunidad y voluntariado para tsunamis.</p> <p>Seguros frente a tsunamis.</p> <p>Programas de educación.</p> <p>Guías para turistas y visitantes.</p> <p>Señalización.</p> <p>Red de intercambio de información.</p> <p>Accesibilidad, notificación, y diseminación de información.</p>
Coordinación	<p>Coordinación con agencias locales y regionales vecinas.</p> <p>Coordinación para el monitoreo, alerta y respuesta.</p> <p>Enlace con la ciencia, tecnología, y políticas.</p>
Implementación	<p>Designación de responsables.</p> <p>Clara programación para implementación.</p> <p>Necesidad de asistencia técnica.</p> <p>Identificación confiable de financiamiento.</p> <p>Incorporación de los tsunamis en todos los planes de riesgos.</p>

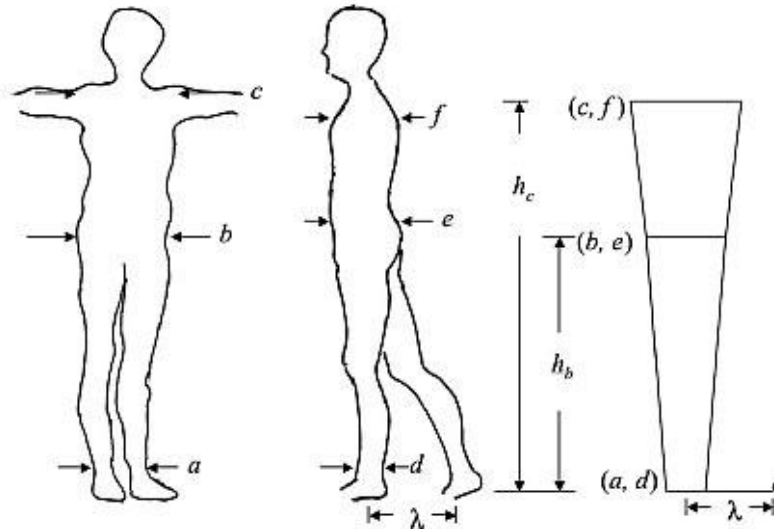
Género y edad en daños por tsunamis

Referencia

Harry Yeh (Oregon State University, Corvallis, Oregon). *Gender and Age Factors in Tsunami Casualties*. Natural Hazard Review. Vol 11, N° 1, February 1, 2010. ASCE.

El modelo de daños es desarrollado sobre la base de que una persona pueda mantenerse en pie frente a un flujo de tsunamis. A partir de datos antropométricos se elabora un modelo simplificado de un cuerpo humano. Se aplica un modelo de predicción de inundación de tsunami, generado a partir de una solución analítica de teoría no lineal de ondas medias. Las diferencias en género y edad son más pronunciadas cuando el tsunami es poco significativo. No hay diferencias en tsunamis fuertes. El modelo sólo está basado en mecanismos físicos, y ayudará en la etapa de desagregación de los datos, y a las preferencias en las medidas de protección y evacuación.

Modelo utilizado



MODELO Y PARÁMETROS USADOS PARA EL CUERPO HUMANO

La condición crítica del modelo de daños es establecida cuando la persona es capaz de mantenerse en pie ante el flujo del tsunami. Su caída, constituye una fatalidad (en el modelo). Según el autor, este supuesto simple es apoyado por numerosas observaciones de tsunamis pasados, especialmente cuando la altura del agua es menor que la de un adulto (de 70 cm por ejemplo). Además, al introducirse el agua más allá de la línea de playa, el avance del agua es más suave. En este caso, la persona es capaz de mantenerse en pie.

Sin embargo, cuando la altura de agua es mayor, por el efecto de flotación, el peso del cuerpo disminuye y con él la fuerza para sostenerse, y usualmente va a caer.

Así, se pueden establecer dos modelos de falla:

- Una basada en **equilibrio de fuerzas**, y la falla ocurre cuando la fuerza del flujo excede la fuerza de fricción. Se trata de una falla de traslación.

- La otra está basada en el **equilibrio de momentos**. El desequilibrio ocurre cuando el momento del flujo excede el momento de la fuerza neta del cuerpo parcialmente sumergido. Hay un torque neto que conduce a una falla por rotación.

Para implementar estos modelos, el cuerpo humano fue diagramado como un cilindro elíptico, según se indica en la figura. Para los valores de los parámetros, fueron tomados los datos antropométricos promedio de hombre y mujer en Estados Unidos (datos de 1997) y otros datos adicionales.

Valores promedio antropométricos de adultos en Estados Unidos (1997) y otros grupos de edades											
Persona	Altura, m	Peso, kg	Valores en metros								
			a	b	c	d	e	f	h _b	h _c	λ
Hombre adulto	1.756	78	0.202	0.367	0.492	0.101	0.236	0.243	0.928	1.443	0.30
Mujer adulta	1.629	62	0.180	0.385	0.433	0.090	0.219	0.239	0.862	1.334	0.28
Hombre, 15 años	1.700	56	0.181	0.329	0.441	0.090	0.211	0.218	0.898	1.397	0.29
Mujer, 15 años	1.620	52	0.170	0.363	0.408	0.849	0.207	0.225	0.857	1.327	0.28
Hombre, 10 años	1.385	32	0.150	0.273	0.366	0.075	0.175	0.181	0.732	1.138	0.24
Mujer, 10 años	1.380	33	0.146	0.312	0.351	0.073	0.177	0.194	0.730	1.130	0.24
Hombre, 5 años	1.090	18	0.124	0.225	0.302	0.062	0.145	0.149	0.576	0.896	0.19
Mujer, 5 años	1.075	18	0.119	0.255	0.287	0.060	0.145	0.158	0.569	0.880	0.18

La **fuerza del fluido** actuando sobre el cuerpo humano es calculada como la fuerza de arrastre.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A u^2$$

Donde ρ es la densidad del agua, u es la velocidad del flujo, A es el área húmeda proyectada del cuerpo humano en plano normal a la dirección del flujo, y C_d es el coeficiente de empuje (que en el estudio es asumido a ser igual a 1.5).

La **fuerza de fricción** en contacto de la persona con el piso, es calculada como.

$$F_f = \mu_s N \quad \text{donde} \quad N = (W - \rho g V)$$

Donde μ_s es el coeficiente de fricción crítica (asumido 0.4 para piso de grava, y 0.7 para piso de concreto), N es la fuerza neta (reducida por efecto de flotación) del cuerpo, W es el peso, V el volumen sumergido, y g la aceleración de la gravedad.

Para el criterio de equilibrio de momentos, se tiene.

$$F_d y_0 = N \lambda$$

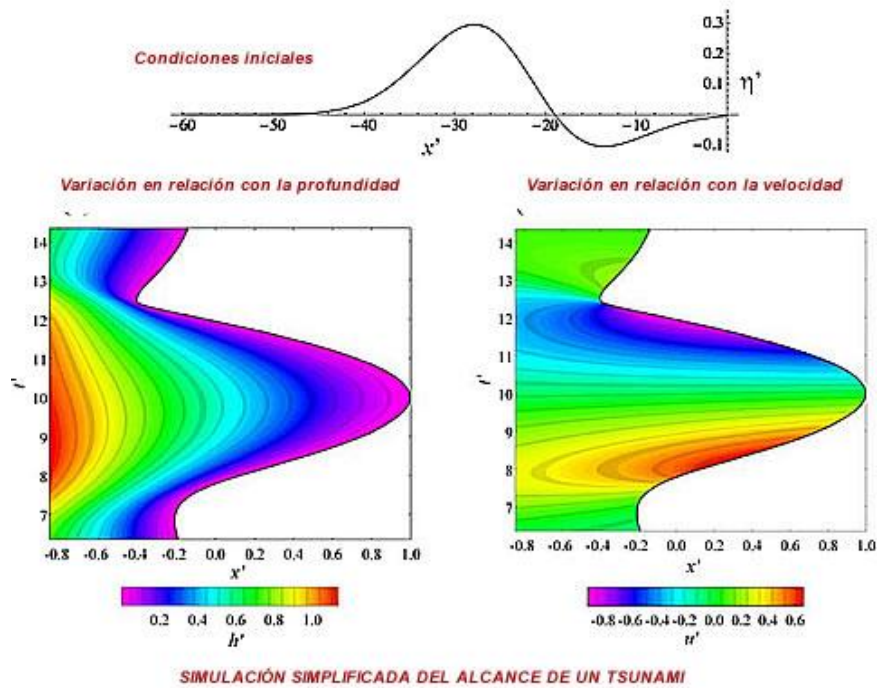
Donde y_0 es la distancia vertical del centroide.

Acción del tsunami

Las simulaciones de tsunamis están codificadas para modelos numéricos basados en teoría no lineales de ondas medias, siendo los conocidos COMCOT (1994), TSUNAMI2 (1996), MOST (1998), Y TSUNAMI-CLAW (2008).

El estudio sin embargo, emplea una solución analítica simplificada, la cual permite calcular el nivel de inundación para un flujo uni-dimensional simple, para una bahía con pendiente uniforme.

Las condiciones iniciales, y los resultados para el perfil de inundación en términos de profundidad y velocidad, se presentan en el gráfico adjunto. Los valores están normalizados en relación con L , la distancia de inundación.



El estudio recomienda aplicar el equilibrio de fuerzas para profundidades bajas y alta velocidad. Cuando la profundidad es suficientemente alta, el modelo de equilibrio de momentos, llega a ser crítico.