

LOS TSUNAMIS, LAS OBRAS CIVILES, EL PLANEAMIENTO UR- BANO Y LA PROTECCION DE LA POBLACION

Por: J. Kuroiwa^I, A. Delgado^{II}, C. García^{II} y M. Lagos^{III}

R E S U M E N

Los Tsunamis o maremotos han causado numerosas víctimas y cuantiosos daños materiales en la cuenca del Pacífico, sobre todo en Japón y Hawai. Numerosos tsunamis han atacado las costas peruanas. El ocurrido el 28 de Octubre de 1746 destruyó totalmente el Callao, matando a 4,800 de sus 5,000 habitantes.

El presente estudio fue efectuado en la UNI entre 1981 y 1982 (10)* con la finalidad de: Proteger a los pobladores que viven en zonas costeras bajas, diseñar y construir obras de Ingeniería Civil resistente a los tsunamis, y planificar los asentamientos humanos para hacerlos menos vulnerables a aquellos.

La Metodología desarrollada ha sido aplicada a los 100 km. de costa de Lima Metropolitana comprendida entre Ancón y Pucusana teniendo como punto focal el Callao, pero se presenta en forma tal que es aplicable para otras zonas.

Los Tsunamis más destructivos en el Perú son los de origen cercano, generados en la zona de interfase de las placas Nazca y Sudamérica, que en la costa central del Perú se ubica a unos 50-60 km. de la costa. Conocida la zona de origen y de acuerdo a la magnitud del sismo es posible estimar el área dislocada y desde su borde propagar las ondas de acuerdo a las leyes de hidráulica ($V = \sqrt{gh}$) siendo así posible estimar el mínimo tiempo de llegada a la costa de la primera ola. Esta información (curvas de Refracción) confirmada por informaciones históricas y registros de tsunamis ocurridos, conjuntamente con la delimitación de las zonas inundables, permiten planificar la evacuación de la población de manera realista. Para el caso de Lima Metropolitana se ha determinado que la primera ola

I. Profesor Principal, Dpto. de Estructuras y Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería. UNI - LIMA.

II. Ing. Civil, UNI. III Graduando P.A. Ing. Civil, UNI

(*) Referencia incluida al final

llegaría entre 20 y 30 minutos después de ocurrido el Terremoto que lo genera. En base a ello se han efectuado los planos de evacuación del Callao, Villa, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María, Naplo y Pucusana. Se continuará con Ventanilla, Santa Rosa y Ancón.

Las obras de Ingeniería civil fallan por impacto del frente de ondas, inundación y socavación de la cimentación. Exponiendo el menor frente posible a la dirección prevista del ataque del tsunami, reforzándolo adecuadamente para resistir la presión de las ondas, y diseñando y protegiendo la cimentación para evitar su erosión, es posible incrementar considerablemente la resistencia de las construcciones al ataque de los tsunamis. Las construcciones de concreto armado, albañilería reforzada y acero resisten mucho mejor los tsunamis que las construcciones de madera, quincha y adobe. Si las primeras están bien diseñadas y construídas tienen buenas posibilidades de sobrevivir al ataque de los tsunamis.

Aunque el propósito inmediato de este trabajo es efectuar el planeamiento de los asentamientos humanos a lo largo de los 100 km. de costa de Lima Metropolitana (cuya población de 4.5 millones se duplicará para el año 2000) lo menos vulnerable posible a los tsunamis, la metodología puede aplicarse para otras zonas.

1. INTRODUCCION

Los Tsunamis o Maremotos son ondas marinas de gran longitud generadas en su gran mayoría, por desplazamientos súbitos de los fondos oceánicos causados por sismos de tipo tectónico.

Estas ondas al acercarse a aguas pocas profundas de batimetría y topografía desfavorables, pueden alcanzar alturas que sobrepasan los 20 metros de altura, como ocurre en las costas de Sanriku, ubicado en la parte norte de la isla Honshu del Japón. Las islas Hawai, ubicadas en el centro del Océano Pacífico, reciben de manera directa, en algunos de sus 360° de playas, tsunamis generados en cualquier punto de la cuenca del Pacífico. Como están rodeadas por aguas profundas, los tsunamis se acercan hasta muy cerca de sus costas sin pérdida de energía por fricción, alcanzando entre 8 y 10 metros

de altura. Por las razones anotadas, la frecuencia de ocurrencia tsunamis destructivos en Hawai es alta.

En el Japón y Hawai sobre todo, y en Chile, Alaska, Indonesia y otros lugares, los tsunamis han causado numerosas víctimas y los daños sufridos han sido cuantiosos. Tsunami es justamente una palabra japonesa que significa "grandes olas en el puerto".

En el Perú, entre 1586 y la fecha han ocurrido numerosos tsunamis. El más catastrófico fue el ocurrido el 28 de Octubre de 1746, ocasión en el que el Callao fue barrido por sucesivas olas causando su total destrucción y la muerte de sus casi 5,000 habitantes, excepto 200 que se salvaron trepados en los muros de la parte posterior de la ciudadela, o flotando en troncos que fueron varados en Chorrillos y la isla San Lorenzo.

Investigaciones realizadas y observaciones hechas durante y después de ataques de tsunamis, han permitido llegar a la conclusión que es posible salvar muchas vidas expuestas a la amenaza de los tsunamis y reducir drásticamente los daños si se toman medidas preventivas para proteger a la población y se planifican las defensas contra los ataques de los tsunamis.

Estas investigaciones, cuyos resultados se reportan parcialmente en este trabajo, fueron efectuadas en la UNI a lo largo de 1981 y parte de 1982. Se contó con auspicios de la Oficina de Naciones Unidas para la Atención de Desastres UNDR0 (UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE) y la colaboración de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, JICA (Japan International Cooperation Agency) y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú DHINA.

Los objetivos del estudio son:

- Proteger a la población que viven en zonas bajas amenazados

por tsunamis.

- Diseñar y construir las obras de Ingeniería Civil (Edificaciones, obras portuarias, etc.) resistentes al ataque de los tsunamis.
- Efectuar el planeamiento de los asentamientos humanos en las zonas costeras bajas para hacerlos menos vulnerables a los tsunamis.

Se estudiaron las costas de Lima Metropolitana comprendidas entre Ancón por el norte y Pucusana por el sur, teniendo como punto focal el Callao. En nuestro vecino puerto se concentran importantes instalaciones, como el Terminal Marítimo, la Base Naval, SIMA etc. Normalmente hay numerosas embarcaciones en el puerto o en la bahía; barcos de carga, navíos de guerra y embarcaciones de pesca y recreo.

En las zonas inundables la densidad de población es relativamente alta y viven decenas de miles de personas. En Lima Metropolitana viven en la actualidad 4.5 millones de personas. En el año 2,000 este número se habrá duplicado. Cientos de miles de nuevos moradores se instalarán a lo largo de sus 100 kms. de costa y deben ser adecuadamente protegidos.

La metodología que se describe en este trabajo ha sido aplicada específicamente para Lima Metropolitana pero puede ser utilizada para otras zonas sin mayores esfuerzos.

2. TEORIA DE LOS TSUNAMIS.

Una secuela destructiva de algunos terremotos que se generan en los fondos oceánicos, es el Tsunami o Maremoto, que consiste en una secuencia de 5 a 10 olas de gran altura, que llegan a las costas cada 10 a 15 minutos si el origen del tsunami está cercano (decenas de kilómetros), para el in-

tervalo puede incrementarse hasta unos 60 minutos si el origen es lejano (miles de kilómetros). En el primer caso, la primera ola arriba a la costa pocas decenas de minutos después de ocurrido el sismo, y en el segundo varias horas después.

Sin embargo, no todos los tsunamis son consecuencia de un sismo. Algunos son producidos por deslizamientos de masas importantes de tierra dentro de la bahía y su ataque es casi instantáneo; otras son generadas por erupciones volcánicas. Estos tsunamis son denominados de Origen Local.

Los Tsunamis generados por sismos tectónicos que ocurren en el fondo oceánico, son producidos por el levantamiento e hundimiento del fondo debido a la liberación súbita de la energía acumulada por la lenta interacción de dos placas que se alejan, o se deslizan una al lado de la otra, o colisionan al acercarse. Al buscar el equilibrio, grandes áreas del orden de centenares de kilómetros cuadrados pueden ser impulsadas verticalmente hacia arriba o hacia abajo, actuando como un gran émbolo que transmite parte de la energía liberada por el sismo a la masa de agua. Esta masa, alterada desde el fondo hasta la superficie, propaga el desequilibrio en todas direcciones y a gran velocidad, por lo que la mayor cantidad de la energía corresponde a la Cinética o de movimiento. Conforme el tsunami se acerca a las costas, zonas de agua poco profunda, pierde velocidad, transformándose la energía en potencial o de altura. Por ello, los tsunamis en alta mar pasan desapercibidos por su escasa altura, pero son en cambio apreciables en las costas.

Si la falla que origina los sismos está cercana a la costa motivo de interés, el tsunami producido se denomina de Origen Cercano. De Origen Lejano o Transoceánico serán aquellos generados a distancias mucho mayores.

La altura máxima de la ola y la destrucción que causan en las costas determina la magnitud del tsunami. Ella depende de la magnitud del sismo y la profundidad focal del mismo, aunque el primer parámetro tiende a ser descartado para usar en cambio el denominado Momento Sísmico que cuantifica el trabajo total efectuado por la energía liberada. Otros factores son: el área de la corteza terrestre impulsada (dislocada), forma en que ello ocurre y velocidad de dislocación; la ruta de propagación del tsunami, en la cual puede encontrar además de las variaciones de profundidad, obstáculos que dispersen su energía o cauces que la concentren. El viaje del tsunami a través de estas rutas le imprime una dirección que resulta importante para los efectos finales en las costas; así, la altura de ola es mayor en bahías que se abren directamente hacia el origen del tsunami que en aquellos donde el tsunami incide indirectamente. Ya cerca de las costas son importantes la batimetría y la topografía de la región. La configuración de la bahía modifica la altura del tsunami, elevándola si se trata de bahías que se angostan (forma de U, V, W); asimismo la coincidencia entre el período natural de vibración de la bahía y el período del tsunami incrementa la altura de la ola. Tierra adentro, 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 la pendiente del terreno se incrementa, disminuye tanto la altura de ola como su velocidad de propagación, pero cuando la masa de agua retorna tiende a ganar velocidad causando fuerte erosión. Si hay franjas de terreno bajo 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.

Siendo el tsunami una sucesión de ondas, sus características están dadas por el Período, la Altura de onda y

la Longitud de la misma. Período se define como el tiempo - transcurrido entre el pase de dos ondas sucesivas por un mismo punto de observación, y es de 10 minutos en promedio para tsunamis de origen cercano, y 40 a 70 minutos para los de origen lejano. Aunque Takahashi estableció que el período dominante estaba gobernado por la extensión del área dislocada, y mediante la siguiente fórmula lo relacionó con la magnitud M del sismo:

$$\log T = 0.57 M - 2.85 \quad \dots \quad (1)$$

Donde: T = período en minutos,

sin embargo, el período finalmente es determinado por el período natural de cada bahía cuando el tsunami llega a la costa.

La altura H de un tsunami denota la distancia vertical entre el nivel del valle de la onda y la cresta, - mientras el tsunami se dirige a tierra (no debe ser confundida con la altura de la ola en la costa y el Rup-up).

La longitud de onda, del tsunami es mayor que la profundidad del océano, lo que hace que el agua sea agitada desde el fondo hasta la superficie.

Para estudiar la velocidad de propagación del tsunami es necesario aplicar los fundamentos de la teoría de la hidrodinámica, específicamente la teoría de Cauchy-Poisson Lamb, con la cual y tras una serie de hipótesis simplificadas se llega a establecer que:

$$V = (g h)^{1/2} \quad \dots \quad (2)$$

Donde:

V = velocidad en m/seg.

g = aceleración de la gravedad, en m/seg²

h = profundidad del océano, en metros

es decir que, la velocidad del tsunami es función directa de la profundidad del océano. Esto significa que la velocidad es mayor en zonas más profundas que en las menos profundas, y también que el tsunami gira gradualmente hacia la zona menos profunda. (Refracción) Si se conoce el frente de ondas inicial y la batimetría del océano es posible reconstruir el viaje de un tsunami ocurrido, o plantear el de uno hipotético. Esto redundante en otro conocimiento de singular importancia: el tiempo de arribo del tsunami a la costa, es decir, el intervalo que media entre el momento del sismo y el momento en que la primera ola del tsunami se abate sobre la costa, conocimiento que permite salvar muchas vidas.

El cálculo de la altura de ola en la costa, y el Run-up, (altura de la ola tierra adentro) es bastante complicada por la diversidad de factores que se conjugan. A las ya mencionadas, se añaden las influencias de la configuración de la costa en sí y la pendiente del terreno. Cuando el terreno es relativamente plano, el tsunami puede penetrar kilómetros tierra adentro, pero la máxima cota topográfica - que inunda es menor que el run-up, lo que hace pensar que las pérdidas por fricción son bastante importantes; en cambio, cuando la costa es angosta y la pendiente del terreno relativamente fuerte, la zona inundada es menor, pero el run-up es mayor que la altura de ola en la orilla. Estas conclusiones devienen de observaciones de tsunamis ocurridos y sus efectos en las costas de Japón.

3. APLICACION DE LA TEORIA DE TSUNAMIS PARA LAS COSTAS DE LIMA METROPOLITANA: ANCON-PUCUSANA.

La recopilación histórica proporciona la siguiente información: causa u origen de los tsunamis que afectan la costa en estudio que comprende 100 kms. de costa com-

prendida entre Ancón y Pucusana (Ver Fig. 1); magnitud del sismo generador, si es el caso, y sus características (epicentro y profundidad focal); tiempo de arribo del tsunami a la costa; altura de ola en la costa, área inundada y daños causados incluyendo pérdida de vidas.

La recopilación histórica efectuada para la costa de Lima Metropolitana, comprende 21 tsunamis importantes entre 1,586 y la fecha.

Se concluyó que la mayoría de los tsunamis de origen cercano que la afectaron fueron originados por sismos ocurridos al este de la fosa Perú-Chile. La costa fue alcanzada también por tsunamis de origen lejano producidos por sismos. Las magnitudes de los sismos generados están entre 7.5 a 8.4 en la escala Richter, y la profundidad focal entre 13 a 93 kms. El tiempo mínimo de llegada de la primera ola a la costa corresponde al tsunami del 3 de Octubre de 1,974 que llegó en 21 minutos a La Punta, Callao. La mayor altura de ola en la costa corresponde al tsunami del Callao del 28 de 1,746, que alcanzó entre 6 a 7 metros e inundó 1 km. tierra adentro.

Por otro lado, en base a la ecuación de la velocidad del tsunami y la teoría de refracción es posible reconstruir el viaje del tsunami desde su frente de onda inicial hasta la costa. Para obtener el frente de ondas inicial se supuso, basándose en hipótesis formuladas y ensayos sobre modelos a escala realizados por otros investigadores, que el área dislocada por un sismo del tipo de los que se producen frente a Lima, corresponde a una elipse cuyo eje mayor (S) se ubica sobre el eje de la falla dominante y cuya longitud está dada por la siguiente ecuación:

$$\log S = \frac{2}{3} M - 2.93 \quad \dots\dots (3)$$

y el eje menor (b),

$$b = (3.77 - 0.42 M) S \quad \dots (4)$$

Donde:

M = magnitud del sismo generador en escala Richter

El epicentro de la elipse constituye el frente de ondas inicial; dividiéndolo en partes iguales, por ejemplo 1 cm., y trazando rectas ortogonales a cada punto se obtienen canales de igual energía. Conociendo la profundidad del océano en cada punto se obtiene la velocidad de tsunami y por lo tanto la distancia horizontal que recorre en un tiempo dado, por ejemplo 1 minuto. Ploteando estas distancias sobre la recta respectiva y uniendo los nuevos puntos se obtiene un nuevo frente de ondas. El proceso de avance del tsunami es repetitivo.

El método descrito, conocido como Diagrama de Refracción, fue aplicada por los autores para reconstruir el viaje de los tsunamis de 17 de Oct. de 1,966 y 3 de Oct. de 1,974 hasta la costa limeña. (Ver Figs. 2 y 3 correspondientes al último). Los resultados en términos de tiempo de arribo a La Punta se comparan con los registros del mareógrafo - de La Punta en el siguiente cuadro:

Tsunami del	Tiempo del Diagrama (x)	Tiempo del Mareógrafo (x)
17/10/1966	54	54
3/10/1974	25	21

lo cual prueba la bondad del método.

Los estudios teóricos realizados para obtener la altura de ola máxima probable en la costa se redujeron, por la incertidumbre que existe, a la aplicación de la fórmula de Yamaguchi, quien la dedujo de sus observaciones de los efectos del Tsunami en Sanriku, Japón, en 1933. Esta fórmula da la altura de ola en la cota batimétrica de los 100 metros cuando la costa tiene una configuración abierta. Singularmente difícil de aplicar para el caso de La Punta, que es una península con una isla frente a ella, el problema se resolvió calculando la altura de ola para la Isla San Lorenzo. El resultado obtenido, 8 mts. concuerda con los resultados para el mismo punto obtenidos por Hebenstreit y Whitaker (Ver referencia 5) en su estudio por métodos computarizados de tsunamis en la costa sudamericana. Si se considera que la pérdida por fricción es apreciable desde la isla hasta la costa, la ola final sería de 6 a 7 mts. lo que concuerda con el registro histórico. Se ha calculado asimismo la altura máxima de olas para las localidades comprendidas entre Ancón y Pucusana en la que se han determinado las áreas inundables.

4. MEDIDAS DE PROTECCION DE CIUDADES COSTERAS AMENAZADOS POR TSUNAMIS.

En el caso de las ciudades costeras que afrontan un riesgo potencial de ocurrencia de tsunami, se debe evaluar los riesgos y usar los resultados que se obtengan de dicho análisis para planificar la forma de hacer frente al desastre, antes de que ocurra, formulando programas de ayuda y evacuación en casos de alarma de tsunamis, que sirvan a cada una de las localidades que se estudien.

Así tenemos que se ha considerado indispensable elaborar una metodología para formular Planes de Evacuación.

ción de ciudades costeras en caso de alarma de tsunamis de o rigen cercano, teniendo en cuenta que en tales casos en sismo local de Intensidad VIII=IX M.M. constituye ~~la~~ primera se ñal de alarma. La metodología que se plantea consta de los aspectos que a continuación se exponen.

- Localización y delimitación de la zona crítica.

Se delimitará dentro de la localidad que se estudia la zona que de acuerdo, primordialmente, a sus características topográficas y de ubicación en relación al mar, se estima será inundada por acción del tsunami hipotético. La zona crítica se delimita en primera instancia a partir de la al tura de ola de diseño correspondiente y luego se corrige considerando los efectos de fricción cuando el mar avanza tierra adentro.

- Investigación de la realidad de la zona crítica y aledaña

De la minuciosidad con el que se aborda esta investigación dependerá la operatividad del Plan de Evacuación a formularse. Los aspectos más importantes a ser investigados son: Poblacional, Cultural, Plan Urbanístico y Plan Vial, tipo de uso del suelo y los materiales de construcción pre dominante. Así también se debe hacer una estimación genérica de daños en caso de sismo de Intensidad VIII-IX M.M.

- Estudio y determinación de las Vías de Evacuación

El objeto de este estudio está constituido por las avenidas, jirones o calles que en el caso de alarma de tsunami, pueden conducir a la población de la zona crítica hacia zo nas de seguridad. En cada localidad se señalarán las vías de evacuación principales entendiéndose por tales a aquellas por cuyo intermedio se puede salir rápidamente de la zona crítica. Las vías de evacuación principales tienen

como características más importantes a las siguientes: pendiente ascendente respecto al nivel medio del mar, alejarse de la línea costera, estar libre de obstáculos, tener amplitud y ser transitables después de un sismo de intensidad VIII-IX M.M. Pueden ser vehiculares o peatonales.

- Estudio y determinación de las zonas de seguridad.

Las zonas de seguridad están constituidas por aquellas que no están incluidas en la zona crítica y por las edificaciones que estando ubicadas dentro de ella, poseen ciertas características por las que se les ha denominado "Refugios de Emergencia". Tales características son las siguientes:

- . Haber sido construída de acuerdo a un proyecto integral sismo-resistente, de tal forma que en el caso de ocurrencia de un sismo de Intensidad VIII-IX M.M., los daños que sufra la edificación sean leves y que no se produzcan daños importantes.
- . Poseer áreas disponibles con fines de refugio en niveles ubicados por encima de los 10.00 m.s.n.m.
- . Cimentación resistente a la erosión
- . Estar en una zona protegida del ataque del mar

Estos refugios de "emergencia" serán ocupados durante un período de tiempo corto y comprendiendo entre el instante en el que se difunde la alarma hasta cuando se considere que el período crítico ha pasado.

- Planeamiento de un refugio temporal

El refugio temporal se define como el emplazamiento que puede ofrecer albergue a la población afectada por acción del sismo-tsunami, en la etapa posterior a la ocurrencia del desastre. Se considera acertado planificar el funcionamiento de refugios temporales en los Parques Zonales, los cua-

les pueden funcionar normalmente como áreas de recreación y esparcimiento, y en caso de desastre permiten albergar un gran número de damnificados; facilitando de esta manera la prestación de servicios. Dentro de un refugio temporal, se organizarán cuatro áreas principales: Administración, - Residencia, Salud y Servicios.

- Organización de la Evacuación.

La organización de la evacuación de un asentamiento urbano costero bajo la hipótesis de ocurrencia de sismo-tsunami, se plantea apoyándose en el conjunto de acciones que se deben realizar en la etapa previa a la ocurrencia del desastre tales como: Campañas educativas, campañas de difusión del plan de evacuación, señalización de rutas de escape y refugios, programación de simulacros, etc.; tales acciones incrementarán la colaboración que puede ofrecer la población durante el proceso de evacuación de la misma. Se debe tener en cuenta al organizar la evacuación la ocurrencia del sismo previo al ataque del tsunami, así también que el desastre puede ocurrir un día laborable, un día feriado o de noche.

Se proponen como tareas a cumplirse durante el proceso de evacuación la canalización del flujo vehicular y peatonal de acuerdo a la distribución de las vías de evacuación, mantener libres de obstrucción dichas vías, el rescate de heridos y su evacuación oportuna. Las tareas propuestas tratarán de ser cumplidas a través de la ocasión de las Brigadas de Emergencia.

La organización de la evacuación de una localidad se traducirá en una Cartilla de Divulgación conteniendo instrucciones a ser seguidos durante el período crítico,.

los cuales se refieren al riesgo relativo de ataque de tsunami que afronta cada zona dentro de una localidad, las rutas de evacuación cuyo uso se recomienda y la ubicación de las zonas de seguridad.

Es importante destacar que el funcionamiento adecuado de un plan de evacuación está en función de una alarma oportuna, por lo que se plantea la creación de un Sistema Nacional de Alarma de Tsunamis constituido por organismos de alcance Nacional, local y vecinal (Brigadas de Emergencia), cuyo tipo de funcionamiento dependerá de si el tsunami es de origen cercano o lejano. En el caso de un tsunami de origen cercano, serán las Brigadas de Emergencia las encargadas de poner en marcha el Plan de Evacuación.

Se ha estudiado los planes de evacuación del Callao, Villa, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María, Naplo y Pucusana. Para cada localidad se ha determinado la zona inundable, las zonas en refugio y las rutas de escape. (Ver ejemplo de Pucusana).

En el Callao, dado que la Punta podría no ser evacuada en el tiempo estimado de arribo de la primera ola se ha seleccionado algunos edificios como el del Banco de la Nación, CPV, etc. como refugios de emergencia. Como refugio temporal se ha seleccionado el complejo conformado por el Parque Zonal Yahuar Huaca, Colegio General Prado (reforzado después del terremoto de 1974), el Policlínico del Instituto Peruano de Seguridad Social (Ver Fig. 4) ubicadas por encima de los 20 m.s.n.m. están ubicadas uno al lado del otro y tiene buenos accesos de las zonas por evacuar y desde Lima.

5. PROTECCION DE LAS OBRAS DE INGENIERIA CIVIL Y EL PLANEAMIENTO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS CONTRA TSUNAMIS.

Los efectos destructivos de los tsunamis sobre las obras civiles a construirse en zonas expuestas a estos fenómenos naturales pueden reducirse drásticamente e incluso eliminarse si se tiene en cuenta como se comportan los maremotos tanto en mar como en tierra.

La planificación empieza con la selección del emplazamiento más adecuado para ubicar la obra proyectada. Para la evaluación de las condiciones naturales de la zona en estudio, en el Perú se ha desarrollado una metodología en la que incluyen los últimos avances de la Ingeniería Sísmica y se ha adecuado a la realidad geográfica del país (8). Recientemente esa metodología ha sido simplificada adoptando la a la realidad socio-económica de las poblaciones del interior (9) ampliado así su área de aplicación.

En dicha metodología no solamente se tiene en cuenta la mayor o menor amplificación que puedan sufrir las ondas sísmicas, sino que se tiene en cuenta además, la amenaza de fenómenos de geodinámica externa como: deslizamientos, huaycos, avalanchas, inundaciones, etc. y efectos secundarios de los terremotos como tsunamis. La profundización del estudio de los efectos de los tsunamis y su aplicación para la protección de la vida humana y sus bienes materiales, se enmarca pues, dentro de un plan sistemático iniciado en 1970, después del terremoto de Ancash que causó más de 60,000 víctimas.

Aunque el presente estudio se centró en los 100 km. de costas de Lima Metropolitana para ser aplicado en el planeamiento de los asentamientos humanos a nivel local, de la observación de la batimetría adyacente a la costa pe-

ruana y la distribución de los epicentro de los terremotos y su profundidad focal, han permitido comprender porque entre 1540 y a la fecha no se han producido tsunamis importantes entre el norte del Dpto. de Lima y el Dpto. de Lambayeque.

En cambio de Lima hacia el sur, hasta la frontera con Chile, desde el siglo XVI hasta la fecha han ocurrido numerosos tsunamis, algunos de ellos muy destructivos. Esta información es muy importante para la planificación física de la costa peruana a nivel nacional y regional.

A nivel local, la batimetría y topografía tienen una influencia determinante en la manera como el tsunami avanza en la zona que inunda y en la altura máxima que alcanzan las olas.

Los conocimientos teóricos y experimentales y las informaciones históricas de tsunamis ocurridos en diferentes lugares de la cuenca del Pacífico, relacionados con las características batimétricas y topográficas, permitan determinar las áreas probables que serán inundadas en futuros tsunamis con una aproximación suficiente para su utilización práctica.

Determinada las áreas inundables y las alturas de olas, es posible planificar la defensa de las obras civiles contra los tsunamis.

Lo ideal sería no construir en las zonas inundables, pero muchas veces eso no es posible. Si se proyecta construir en zonas inundables por tsunamis es necesario planificar la defensa de las construcciones para lo cual es necesario conocer como atacan los tsunamis y que tipo de daños causan y de acuerdo a esto se tomen las medidas para contrarrestar esos efectos destructivos.

DAÑOS CAUSADOS POR TSUNAMIS EN LAS COSTAS

En base a las experiencias recogidas en Japón, Alaska, Hawai y Chile principalmente, ya que en el presente siglo prácticamente no se tiene experiencias de tsunamis que hayan destruido estructuras modernas en el Perú, se ha tratado de tipificar los daños causados por estos fenómenos de la siguiente manera:

- Daños causados por el frente del Tsunami.

Los daños son causados por el momento de flujo del tsunami al impactar con tremenda fuerza contra edificaciones, muelles, embarcaciones, etc. siendo más graves los efectos en los vértices de las bahías en forma de "V", cuando son atacadas por tsunamis de período corto.

La destrucción se puede incrementar si el tsunami arrastra troncos, embarcaciones y otros objetos. Aún embarcaciones de gran tamaño pueden ser arrastradas tierra adentro, como sucedió con la nave de guerra norteamericana USA-Wateree, la cual quedó varada a 400 m. de la orilla por efecto del tsunami de Arica de 1868.

- Daños por inundación.

En este caso los daños son causados por flotación de objetos, invasión de barro y arena, que puede malograr maquinarias, tierras de cultivo, enterrar canales, etc., ya que el flujo no se produce con gran fuerza pero sí con gran cantidad de material fino en suspensión.

Botes y otras embarcaciones pueden ser arrastradas tierra adentro.

- Daños por socavamiento.

Las estructuras portuarias son las más sensibles a este tipo de daño, pues las ondas del tsunami remueven con fuerza

el fondo oceánico pudiendo causar el socavamiento de tabla estacas de la cimentación de edificios y otras estructuras y depositando el material removido en canales, radas, etc. enterrándolas.

- Protección de Obras de Ingeniería Civil.

Entre las obras civiles, las que tienen mayor probabilidad de ser dañadas o destruidas son las edificaciones y las obras portuarias. Por esta razón, nos centraremos en estas construcciones.

5.1 RECOMENDACIONES PARA EDIFICACIONES.

- Las edificaciones deben ser de concreto armado, albañilería reforzada o acero, unidas firmemente a la Cimentación.
- Las edificaciones deben presentar el menor frente posible a la dirección prevista de ataque de las olas.
- Es deseable la incorporación de muros de corte, orientados de tal manera que ayuden a la edificación a soportar el empuje del agua.
- Las edificaciones ubicadas en la "primera línea" del ataque del tsunami sufrirán impactos más violentos. Deben por lo tanto, ser diseñadas teniendo en cuenta este factor. En edificaciones de varios pisos da buen resultado dejar el primero como área libre para parqueo de automóviles, sirviendo los pisos superiores de refugio temporal en caso de tsunamis moderados.
- Para prevenir la socavación, es conveniente efectuar la cimentación a profundidad adecuada, y proteger el pie de las edificaciones con losas de concreto que termine en su extremo con un mandil, colocando allí piedras grandes o bloques de concreto enterradas.

5.2 RECOMENDACIONES PARA OBRAS PORTUARIAS.

- Los rompeolas, para que tengan buena estabilidad, deben estar conformados por material grueso, revestidos por bloques de piedras muy pesadas, del orden de varias toneladas. Las pendientes laterales deben ser 1: 1.5 a 1:2 (relación de la altura a proyección horizontal de la pendiente).
- Los pilotes de los muelles deben estar clavados a profundidad adecuada que evite daños por socavamiento. Además, la unión del pilote a la superestructura debe ser monolítica.
- Al efectuar el diseño de los muros de contención y tablaes tacas, debe suponerse la condición más desfavorable, o sea la que supone el empuje del agua al retornar desde tierra firme hacia el océano.
- Los tanques de combustible deben ubicarse de manera que no reciban el impacto directo de las olas, y rodearse de un dique de contención que repela el agua.
- No es posible proteger de manera especial los terraplenes de carreteras y ferrocarriles. Pero se recomienda usar material lo más grueso posible.

PLANIFICACION URBANA EN LAS COSTAS BAJAS AMENAZADAS POR TSUNAMIS.

Uno de los aspectos en que se concentra este trabajo es la planificación física para que los futuros asentamientos humanos que se desarrollen en las costas bajas de Lima Metropolitana sean más seguras o menos vulnerables a los tsunamis. Hacia fines del presente siglo, su población actual de 4.5 millones de habitantes se habrá duplicado. - Cientos de miles de los nuevos pobladores se asentaran a lo largo de sus 100 km. de costas, cuyas vidas es necesario proteger de los efectos negativos de los fenómenos naturales.

Estos objetivos puede lograrse a costos pocos significativos si los asentamientos se efectúan de manera planificada y las acciones tendientes a ello se inician de inmediato.

Como se sabe la planificación física y el desarrollo urbano, traslada los objetivos sociales y económicos del desarrollo a patrones físicos de uso de la tierra. - En este aspecto uno de los objetivos más importantes es la que proporciona a sus futuros habitantes una adecuada calidad de vida, donde la protección de su vida y sus propiedades, son cualidades esenciales a considerar.

Para lograr los objetivos mencionados, la evaluación de las condiciones naturales existen, es el primer paso que debe darse. En el Perú la metodología desarrollada para los estudios de Microzonificación Sísmica es una respuesta adecuada a esos requerimientos ya que es flexible y considera para cada zona los fenómenos naturales que la amenazan.

En el caso de las costas de Lima Metropolitana la cadena de acontecimientos a considerar son:

1. Terremotos - Amplificación de las ondas sísmicas en suelos desfavorables - Licuefacción de arenas - Ataques del Tsunami. En las zonas pobladas la cadena a considerar.
2. Terremoto - Destrucción de zonas antiguas - Ataque de tsunamis. De acuerdo a la evaluación de la peligrosidad de cada uno de los acontecimientos mencionados, las zonas a ser urbanizadas (o ya ocupadas) se deben dividir en subzonas o microzonas con distintos grados de riesgos, llegándose así a confeccionar el mapa de microzonificación sísmica.

Como dicho documento se puede proceder luego a definir los patrones de uso de tierra destinando las áreas

de menos riesgo para ubicar los componentes más importantes del asentamiento: áreas residencias de alta densidad, zonas destinadas a las actividades económicas de las que depende la población, etc. Las áreas de mayor riesgo, incluyendo las inundables por tsunamis, se deben destinar a actividades recreacionales. Esto se conjuga con la necesidad de dejar a la orilla del mar franjas de terreno un ancho adecuado como zona de recreación para una población cercana a los 10 millones que tendrá Lima dentro de un par de décadas.

Los datos de las condiciones naturales asistentes sirvan también para diseñar los sistemas de abastecimientos de aguas, que suelen ser muy vulnerables en suelos arenosos saturados y poco compactos que existen en las zonas costeras bajas.

Cuando se diseña las vías de transportes deben considerarse que en caso que se den la alarma contra tsunamis estos sirvan para evacuar a la población amenazada a zonas de seguridad.

En el Plan Maestro que definen el modelo de desarrollo de una ciudad y constituyan una guía para su implementación, deben incorporarse todas las medidas físicas para su protección de los fenómenos naturales que puedan ocurrir en el área. En trabajos anteriores se ha descrito la metodología y se han dado ejemplos donde se evalúan los riesgos naturales más frecuentes en el país. En lo que sigue de este trabajo nos concentraremos en la protección contra tsunamis.

En Lima Metropolitana existen dos problemas que hay que considerar prioritariamente en caso de terremoto y tsunamis:

a. Los efectos de los terremotos y tsunamis en zonas habita-

das . En la Punta se presenta un problema particular por ser alargado y está ubicado de 3 a 4 m. sobre el n.m. Personas con impedimentos físicos, ancianos y niños podrán no poder evacuar la zona declarada en emergencia en el tiempo estimado de arribo de la lera. ola. En la parte baja del Callao existe todo un sector de construcciones antiguas que podrán fallar al ocurrir un terremoto muy intenso y luego ser inundado por tsunamis.

En los balnearios ubicados al norte y al sur de Lima la evacuación de sus habitantes es relativamente simple y puede efectuarse en un período corto. Para cada localidad estudiada la estrategia ha consistido en delimitar las zonas inundables que deben ser evacuadas y las zonas de refugio a donde deben trasladarse a través de las vías de escape.

En el caso del Callao se han previsto en la zona inundable edificaciones altas y sismo resistentes como refugios temporal. La construcción de defensas consistentes en grandes rompeolas y diques de concreto en la costa, como los que existen y están en construcción en la costa de Sanriku, Japón, quedan por ahora descartados por razones de su alto costo.

- b. Las zonas costeras bajas que serán ocupadas a corto y mediano plazo. En este caso lo más recomendable es efectuar los estudios de microzonificación sísmica, antes de iniciar los proyectos de planeamiento y diseño urbano. Como reglas generales que pueden servir de guía, de manera preliminar, se puede mencionar lo siguiente:

- En general debe considerarse como zonas inundables las áreas ubicadas por debajo de 6 mts. del n.m.m. localizadas menos de 0.5 kms. de la línea de marea alta. Estas áreas deben ser utilizadas preferentemente como áreas recreacionales.

- En caso de por razones prácticas sea necesario edificar en las áreas inundables, por ejemplo depósitos en terminales marítimos, terminales pesqueros, etc. es necesario determinar la dirección de ataque de las olas y tener en cuenta la recomendación incluida anteriormente.

- Si por razones de fuerza mayor se urbaniza áreas inundables, deben preverse vías de evacuación separando el tráfico vehicular del tráfico peatonal. Una regla básica que deben observar para estas vías es que debe ir contra la pendiente (ganan altura) y paralelo a la dirección prevista de ataque de las olas, de tal manera que se llegue a la zona de seguridad en el menor tiempo posible.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Entre comienzos de 1981 y la fecha se han efectuado una serie de estudios para determinar los efectos del tsunamis sobre Lima Metropolitana, habiéndose obtenido informaciones muy valiosas que pueden ser utilizados de manera inmediata en beneficio de los habitantes que viven en las costas bajas las ocuparan en el futuro. Pero para que estas informaciones tengan los alcances que se ha visualizado, es necesario que estas investigaciones continúen profundizándose en aspectos que son importantes para cada localidad combinándose las acciones como los consejos distritales de los balnearios estudiados, así como también con el Ministerio de Vivienda, Defensa Civil y otras entidades interesadas para que su aplicación se haga más efectiva.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento a las autoridades y funcionarios de UNDR0, JICA, DHINA de la Marina de Guerra del Perú y la UNI, por auspiciar y/o facilitar estas investigaciones.

BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. CAMFIELD FREDERICK (1978) "Tsunami Engineering" Coastal Engineering Research Center, U.S.A.
2. CASAS ALBERTO (1974) "Estimaciones de Daños por Sismo y Tsunamis en Zonas Bajas del Callao" Tesis de Grado P.A. de Ing. Civil. UNI-LIMA.
3. DELGADO ALBERTO Y GARCIA CELIA (1982) "Plan de evacuación de ciudades afectadas por Tsunamis. Zona La Punta-Pucusana". Tesis de Grado P.A. de Ingeniería Civil, UNI-LIMA.
4. GODOY VASQUEZ Y JOAQUIN MONGE (1975) "Metodología para la Evaluación del Riesgo de Tsunami" Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas-Dpto. de Obras Civiles. Sección Estruct. Santiago de Chile.
5. HEBENSTREIT GERALD, y ROBERT E. WHITAKEN, (1981) "Evaluación del Riesgo de Tsunamis que presentan posibles eventos Sísmicos: Efectos cerca de la Superficie". Agencia para el Desarrollo Internacional, Departamento de Estado de los EE.UU. Science Applications. Inc.
6. INTERNATIONAL TSUNAMI INFORMATION CENTER, USA. "Tsunami - NewsLetters" Hawaii, U.S.A.
7. JAPAN NATIONAL WORKING GROUP IN TSUNAMIS. "An introduction to Tsunamis and defence works in the Sanriku Coastal Area" Special Report for the International Tsunami Symposium 1981. Sendai and Ofunato, pp. 47, Japan.
8. KUROIWA J., DEZA E., JAEN H. AND J. KOGAN (1978) "Microzonation Methods and Techniques used in Perú" Proc. II Interna. Conf. en Microzonation Vol. 1, 341-452, San Francisco, California, U.S.A.
9. KUROIWA J. (1982) "Simplified Microzonation Method for Urban Plannings" Proc. III Intern. Earthq. Microzonation - Conf. Seattle, U.S.A.
10. KUROIWA J. (1982) "Tsunamis: Efectos sobre Lima Metropolitana" Informe especial para UNDRO (United Nations Disaster Relief Office). Ginebra. Suiza.

11. MINISTERIO DE MARINA-DIRECCION DE HIDROGRAFIA Y NAVEGACION DE LA MARINA. PERU. Planos batimétricos. Mareogramas. Callao-PERU.
12. SELECTED AUTHORS'S REPRINTS (1972) "Coastal Engineering - of the 1964 Alaska Earthquake" National Academy of Sciences, Washington, pp. 523, U.S.A.
13. TOGASHI HIROYOSHI (1981) "Study en Tsunami Run-Up and counter measure" Nagasaky University - Japan, pp. 295.
14. WIEGEL ROBERT (1974) "Earthquake Engineering" Prentice - Hall Inc. USA, pp. 518.

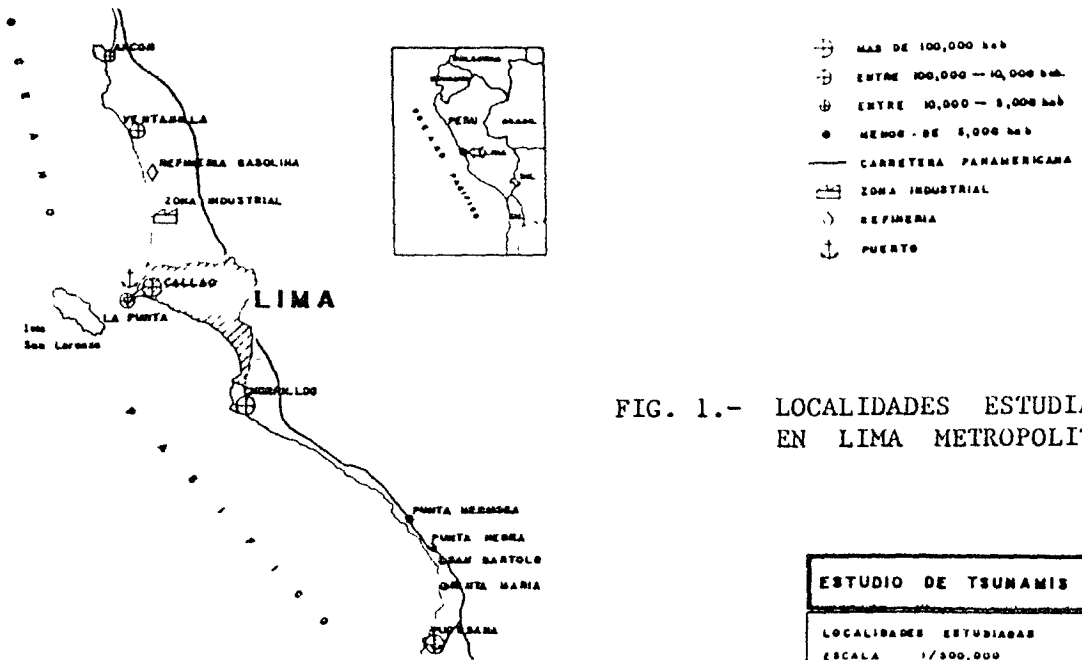


FIG. 1.- LOCALIDADES ESTUDIADAS EN LIMA METROPOLITANA.

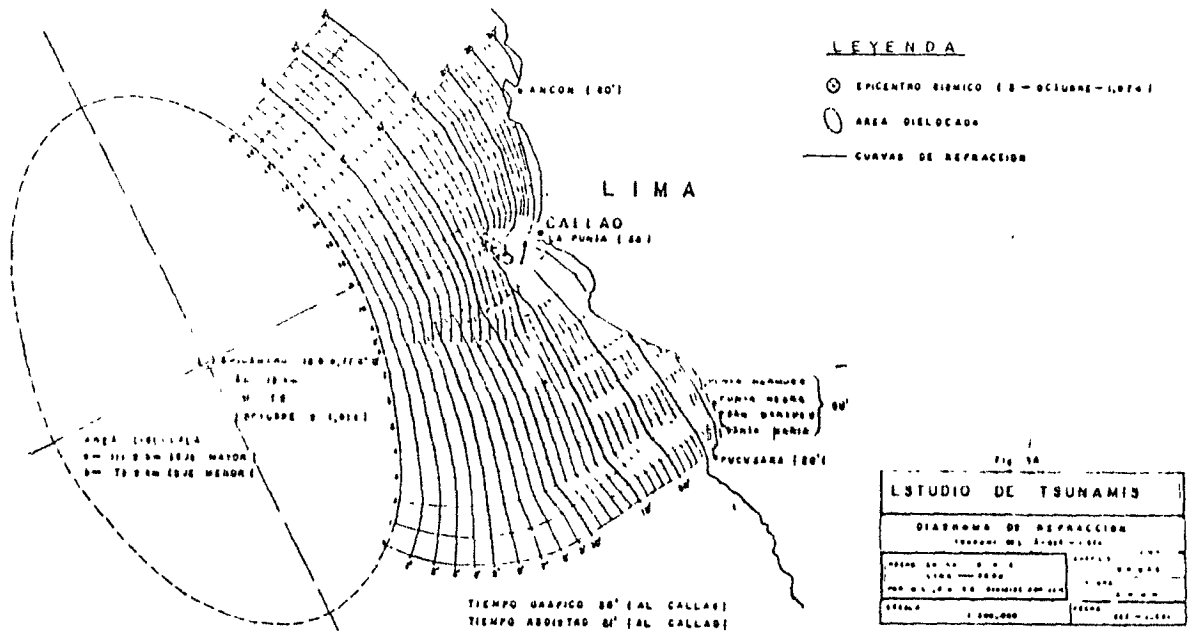


FIG. 2.- DIAGRAMA DE REFRACCION DEL TSUNAMI DEL 3 OCTUBRE 1974

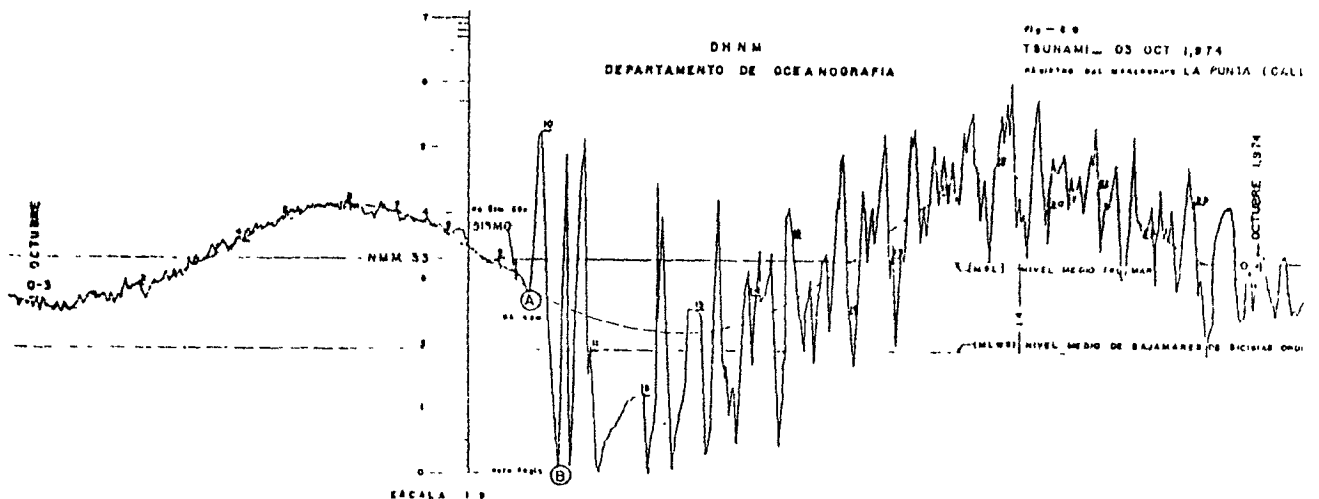


FIG. 3.- MAREOGRAMA DEL TSUNAMI DEL 3 OCTUBRE 1974

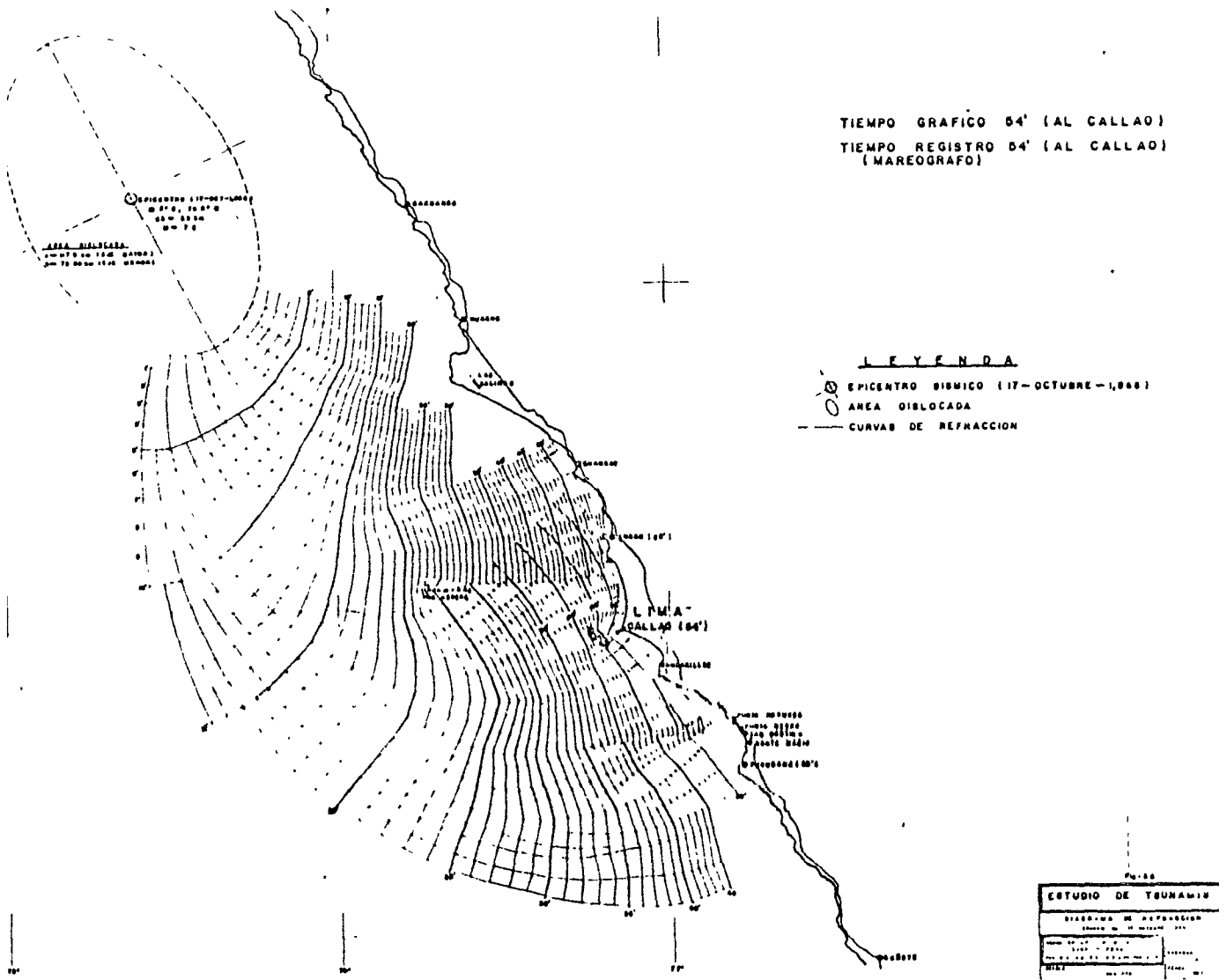


FIG. 3a.- DIAGRAMA DE REFRACCION DEL TSUNAMI DEL 17 OCTUBRE 1966

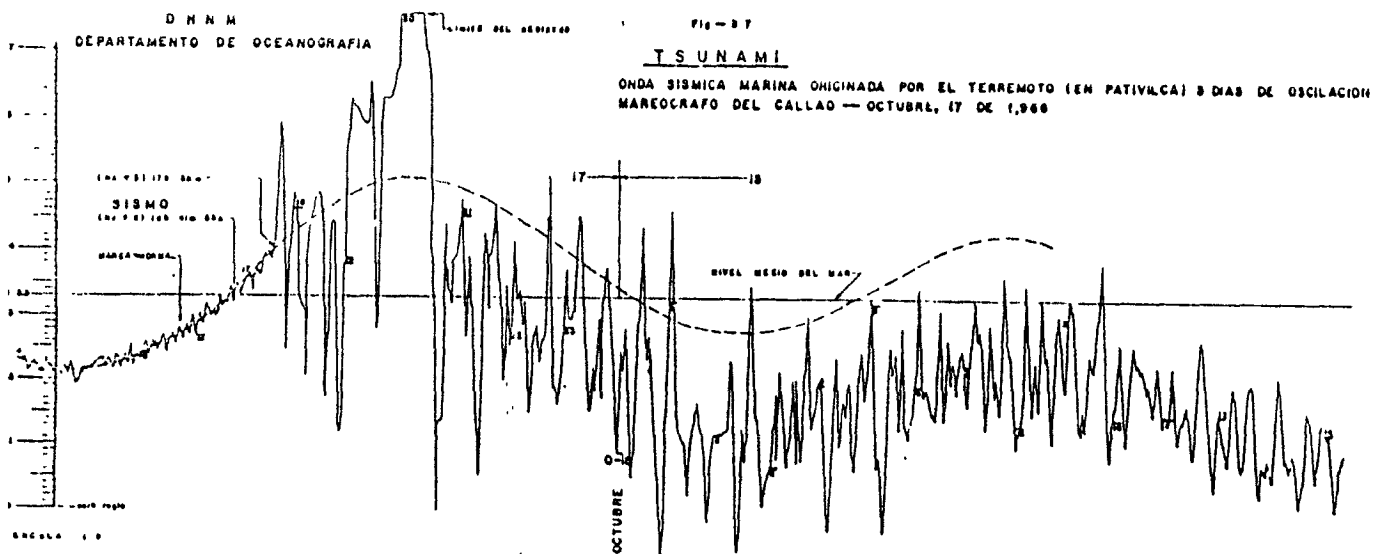


FIG. 3b.- MAREOGRAMA DEL TSUNAMI DEL 17 OCTUBRE 1966

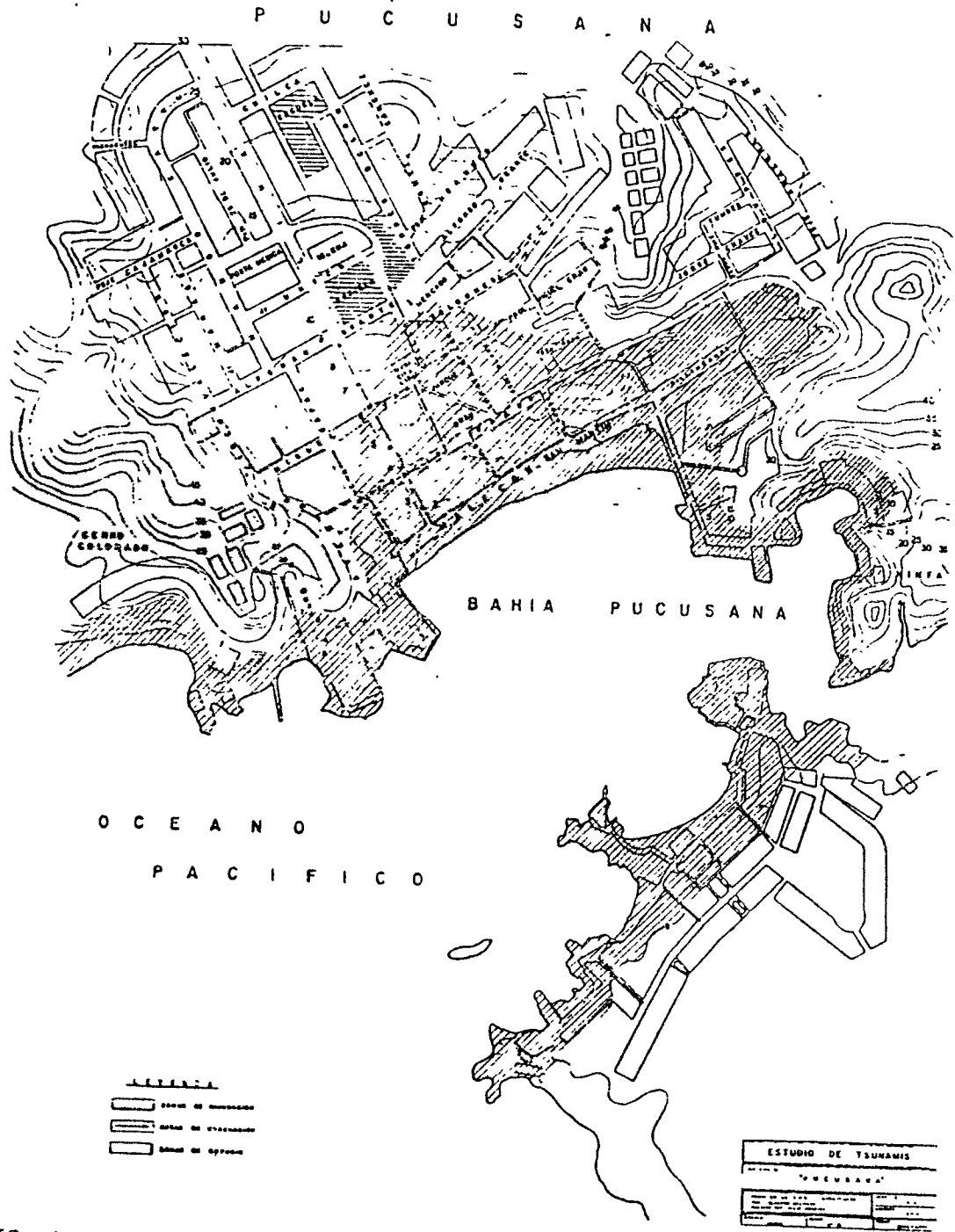


FIG. 4.- AREAS INUNDABLES Y ZONAS DE REFUGIO EN PUCUSANA

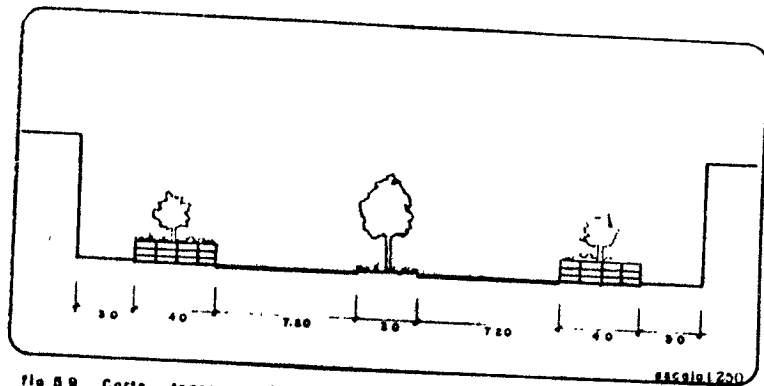


Fig 59 Corte transversal de la Av. Guardia Chalaca

FIG. 5.- CORTE TRANSVERSAL AV. GUARDIA CHALACA (VIA DE EVACUACION-CALLAO)

