

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

TESIS DE GRADO

Estimación de Daños por Sismo y Tsunamis  
en Zonas Bajas del Callao

Alberto Isidoro Casas Cisneros

LIMA PERU

1974

A MIS PADRES

*Quienes con sus sacrificios, no han dejado de apoyarme en todas las etapas de mi vida de estudiante.*

## A G R A D E C I M I E N T O

*Mi agradecimiento de manera muy especial a mi asesor de tesis: Ing°. Julio Kuroiwa Horiuchi - Profesor Principal del Curso de Ingeniería Antisísmica del Programa Académico de Ingeniería Civil, por sus consejos, orientaciones y colaboración en las distintas etapas de este trabajo.*

## P R O L O G O

*El tratado de temas no estudiados anteriormente a niveles como en el presente, trae consigo una cierta complicación que se podría justificar por la importancia que puedan aportar a la humanidad y al grado de interés que pueda causar a los lectores.*

*Las dificultades que conlleva todo tema de investigación se han acentuado por el problema de idioma al tratar las fuentes de consulta, así mismo con un número mayor de ellas habría podido seleccionar las más adecuadas al tema, a dichas dificultades se ha sumado al poco conocimiento que tenía sobre el tema al iniciarlo, esto ha traído como consecuencia la ocupación de algunas semanas más del tiempo planeado.*

*Este tema que servirá para optar el grado de Ingeniero Civil, fue propuesto por mi asesor al plantear la hipótesis de un sismo y el problema de un tsunami, el preguntaba: "¿Qué consecuencia habrían en Lima, capital del Perú, ante la ocurrencia de un sismo de intensidad VIII de la escala Mercalli Modificada?. ¿Qué daños causaría un tsunami (maremoto) en nuestro Primer Puerto?".*

*Indudablemente que aquellas dos preguntas, involucran una serie de trabajos de investigación de gran interés para el país, y que así mismo requerirán el aporte y apoyo de hombres e instituciones; así pues, estudiantes y profesionales de varios campos, estamos comprometidos a trabajar en los próximos años a fin de tratar de resolver el problema.*

*Es mi deseo que se me disculpe por los errores que pudieran encontrarse en la tesis, y rogaría se me hiciera conocer personalmente o también por intermedio del Ing<sup>o</sup>. Julio Kuroiwa Horiuchi, (asesor de mi tesis).*

Expreso mi agradecimiento a las siguientes entidades y personas que han facilitado la labor, al proporcionarme informaciones o brindándome opiniones orientadoras para la preparación de la tesis:

- Secretaría Ejecutiva del Comité Nacional de Defensa Civil
- Oficina Nacional de Estadística y Censos (ONEC).
- Ing° (Tnte. AP) César Vargas F.
- Ing°. Ernesto Deza
- Ing°. Augusto Ríos Delgado
- Ing°. Edgardo Lazo Rivera
- A todas aquellas personas que de alguna manera han prestado su colaboración para que sea posible el desarrollo de la Tesis.

## INDICE GENERAL

	<i>Página</i>
PROLOGO	
CAPITULOS	
1. INTRODUCCION	1
II. TSUNAMIS	8
2.10 Conceptos, Causas y Características Generales	10
2.20 Daños observados en tsunamis anteriores	15
2.30 Estudios sobre tsunamis	31
2.40 La prevención de los tsunamis - El sistema de Alerta del Pacífico	48
III. GENERALIDADES DE LA CIUDAD DEL CALLAO	53
3.10 Aspectos Históricos	53
3.20 Ubicación - Límites - Extensión - Población	54
3.30 El Medio Físico - Clima	55
3.40 Aspectos Geológicos y Batimétricos de la Cos- ta Peruana.	59
3.50 El Terminal Marítimo del Callao	63
IV. ESTIMACION DE PROBABLES DAÑOS Y PERDIDAS ECONOMI - CAS POR SISMO Y TSUNAMIS.	67
4.10 Evaluación del Estado Actual de las Estructuras	67
4.11 Breve Introducción - Area Preliminar de Trabajo.	67

4.12 Evaluación en el Area Portuaria	68
4.13 Evaluación en el Area de Viviendas	78
4.20 Estimación de Probables daños	101
4.21 Formulación de las Hipótesis de trabajo	102
4.22 Daños en el Terminal Marítimo	104
4.23 Daños en Viviendas.	107
4.30 Estimación de Probables Pérdidas Económicas	112
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.10 Conclusiones	120
5.20 Recomendaciones	129

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

R E S U M E N

El objeto de la presente Tesis es hacer estimaciones de probables daños en estructuras y edificaciones en el Area del Callao, ante la hipótesis de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII-IX, y un tsunami (maremoto).

Los planteamientos mencionados han conducido a tratar el tema en tres casos bien diferenciados, como sigue:

- 1er caso.- Ocurrencia de sismo solo,
- 2do caso.- " " " y tsunami juntos
- 3er caso.- " " solo tsunamis.

Las características del suelo del Callao, condujeron a suponer una intensidad de VIII-IX MM para esta área, pues se había planteado para Lima Metropolitana una intensidad VIII MM.

El planteo de las hipótesis para el problema tsunami, se ha hecho en base a estudios realizados en otros países y registros en el Area de estudio. Para el segundo caso, se consideró que un sismo con epicentro ubicado frente a las costas del departamento de Lima que produciría intensidades de VIII-IX MM en el Callao, podría tener una magnitud  $M = 8$  (Escala de Richter), esas consideraciones condujeron en plantear la hipótesis para este caso, de la siguiente manera:

- Magnitud de terremoto  $M = 8$  (Escala de Richter),
- Epicentro de terremoto: Costa del Dpto. de Lima,
- Profundidad focal  $< 50$  Kms.
- Desplazamiento tectónico vertical: considerable
- Magnitud de tsunami:  $m = 2.5$  (máximo runup = 6-8 mts.),
- Velocidad de las olas en la orilla = 8 m/seg.

## II

Para el tercer caso, se consideró principalmente los registros de los últimos tsunamis más grandes ocurridos en el Pacífico, y posibles orígenes más desfavorables, esto condujo a plantear la siguiente hipótesis:

- Epicentro de terremoto: Nueva Zelanda o lugares cercanos.
- Magnitud de tsunami,  $m = 1.5$  (máximo runup = 3-4 mts.),
- Velocidad de las olas = 8 m/seg.
- Dirección de las olas normal a la costa.

El diagnóstico del estado de las estructuras y edificaciones, se hizo encuestando todas las estructuras del Terminal Marítimo del Callao y empleándose el método de muestreo para el área de viviendas.

La estimación de los probables daños, se hizo en base a escalas de daños de acuerdo a los materiales de construcción, estado de conservación, antigüedad, defectos de construcción de las edificaciones, hipótesis de trabajo, y además para los casos de tsunamis se consideró la ubicación con respecto a la playa.

Después de realizar el trabajo de campo y aplicar las escalas de daños, los principales resultados y conclusiones, fueron como sigue:

El estudio de los efectos causados por tsunamis anteriores han permitido concluir que las estructuras de concreto armado o de acero, han resistido los tsunamis con relativamente pocos daños, pero las que estaban mal diseñadas sufrieron graves daños, las edificaciones construidas de material liviano, fueron en la mayoría de los casos arrasadas o llevadas a flote. Los daños más grandes en los muelles fueron por impacto de embarcaciones, deficiente arriostramiento de sus elementos o insu-

ficiente adherencia de su cimentación. Los daños en rompeolas se debieron principalmente a severa abrasión por flujos de alta velocidad y por asentamientos del terreno de fundación.

Del diagnóstico de las estructuras y edificaciones, concluimos que:

En el Area Portuaria, las estructuras están casi en su totalidad construídas de concreto armado, en general en buen estado de conservación, sin embargo se ha podido observar que existe una gran cantidad de edificaciones pequeñas, lo que podría considerarse una desventaja en caso de tsunamis. La encuesta realizada en el Area de Viviendas, nos dice que aproximadamente el 50% de ellas están construídas de quincha y/o adobe, estando muchas de ellas en mal estado de conservación, cerca del 45% son de ladrillo (en éstas se han observado los mayores defectos constructivos hallados) y aproximadamente 5% son de concreto armado. En cuanto a alturas, el 50% de las edificaciones tienen un solo piso; el 40%, dos pisos y el 10% más de dos pisos. Es de agregar que la zona 6\*, presenta gran cantidad de viviendas en estado deplorable con el agravante de tener la mayor densidad de población en el Area; la zona 7 presenta calles muy estrechas con viviendas muy antiguas (muchas de dos pisos), constituyendo un grave riesgo tanto por incendio, sismos y tsunamis. En 48 manzanas encuestadas, se contaron 80 callejones (quintas), los que gran cantidad de ellos no reúnen las mínimas dimensiones para casos de rápida evacuación.

Ante la hipótesis de un sismo de intensidad VIII-IX, MM, se estima que, en el Terminal Marítimo, el 30% de las estructuras sufrirían daños entre el 40 y 70% de su valor, y los restantes 70%, soportarían el sismo con daños del 10, 20 ó 30% de su valor; las probables pérdidas económicas en esta área, se han estimado en 350 millones de soles; en cambio en el Area de Viviendas, los daños serían mucho mayores, así se ha estimado que el 70% de las viviendas (tipos A y B) sufrirían daños por el 40

\* Para ubicación de las zonas, ver planos del Callao al final de la Tesis.

a 70% de su valor y totales. Se verían afectadas aproximadamente unos 80,000 habitantes, ya que según la ONEC, en el Area de estudio viven unos 120,000 habitantes. Las probables pérdidas económicas en esta área se estiman en 2,070 millones de soles.

Para la hipótesis de sismo de intensidad VIII-IX, y tsunami de magnitud 2.5, juntos, se concluye que: Los mayores daños en el Terminal Marítimo ocurrirían en las rompeolas por insuficiente densidad de roca; muelles, por impacto de embarcaciones, y edificaciones pequeñas por inapropiada cimentación. Las pérdidas económicas en las estructuras de esta área ascenderían a 800 ó 900 millones de soles; las pérdidas en mercaderías, serían cuantiosas e incalculables. Los daños en el Area de Viviendas serían muy variados aún para construcciones de similares características, pues las ubicadas en las cotas más bajas sufrirían todo el embate de las olas del tsunami, decreciendo los daños al aumentar la cota y la distancia hasta la playa; las pérdidas económicas en viviendas, para este caso, ascenderían a los 2,700 millones de soles.

Con respecto a la hipótesis de solo tsunami, las pérdidas económicas en el Area Portuaria, ascenderían a 270 millones de soles; y en el Area de Viviendas, las pérdidas llegarían a los 900 millones de soles.

Para la prevención de pérdidas de vidas, se puede decir que hay una gran escasez de conocimientos a nivel general del real peligro que significan la presencia de los tsunamis, en otras palabras, nuestro público no está preparado para afrontar dichos eventos.

De las conclusiones obtenidas, se puede recomendar:

En el diseño de nuevas estructuras ribereñas, considerar el posible efecto de tsunamis, diseñando estructuras con cimentación profunda para que pueda desarrollar suficiente adherencia al suelo y pueda resistir tanto fuerzas hidrostáticas

como hidrodinámicas; los edificios deben tener adecuadas formas hidráulicas, así por ejemplo podrían ser construídos para exponer su menor dimensión a la posible dirección de las olas del tsunami, y el primer piso puede quedar sin construir, aprovechándose esa área para jardines ó playas de estacionamiento; esas nuevas construcciones se podrían hacer hasta tres cuadros a partir de la playa; por otra parte, se aconseja disminuir en lo posible las construcciones pequeñas.

En el Area de Viviendas, se recomienda efectuar las respectivas demoliciones en el período más corto de las viviendas más antiguas y en mal estado, construyéndose en su lugar edificios con las características mencionadas; detectar todas las calles estrechas que no reúnan las mínimas condiciones de seguridad y viabilidad a fin de rediseñarlas y construir las, de acuerdo a las modernas técnicas de planeamiento; ampliar los callejones existentes para que así reúnan buenas condiciones de rápida evacuación.

Educar al público para que conozca los reales peligros que conllevan los fenómenos sísmicos y tsunámicos y no sea invadido por el pánico; se difunda que en el Océano Pacífico existe un sistema de Alerta permanente contra los tsunamis y que su eficiencia es muy alta.

Ante la ocurrencia de los tsunamis, un equipo de técnicos y científicos peruanos deben contar con planes de acción concretos a fin de obtener el mayor número de datos en provecho de futuras investigaciones.

Invitar a expertos en prevención de daños para que trabajen conjuntamente con peruanos, pues sus conocimientos serían muy provechosos.

# C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo forma parte de una serie de trabajos que se han iniciado recientemente en Lima, con el fin primordial de prevenir a la Capital Peruana en el supuesto caso de que ocurriera en ella un sismo de grado VIII de la escala Mercalli Modificada.

Específicamente aquí se hace una estimación de probables daños en Nuestro Primer Puerto bajo la hipótesis de la ocurrencia de un TSUNAMI (maremoto), pues estos fenómenos generalmente acompañan a los mayores sismos.

Si bien es cierto que para este estudio se ha escogido un área limitada, como es el Callao, también es cierto que las conclusiones que se obtengan se pueden aplicar a otros puertos y ciudades costeras peruanas pues esos fenómenos generalmente actúan en grandes áreas, pudiendo inclusive extenderse por todo un oceano.

El Sistema de Defensa Civil, Organismo a nivel nacional creado en marzo de 1972, uno de cuyos objetivos fundamentales es prevenir daños, evitándolos o disminuyendo su magnitud, también incluye en sus planes de acción los desastres por Tsunami, y de hecho este trabajo se ha coordinado en parte con dicho organismo.

Así mismo, en un informe presentado por el Departamento de Sismología y Gravedad del Instituto Geológico del Perú, a raíz del Sismo de mayo de 1970, entre otras conclusiones recomienda : "Tener presente la amenaza de los maremotos en la reconstrucción de zonas urbanas costeras, analizar cada zona a fin de pronosticar el efecto de un maremoto. Instituir el sistema de avisos y de acción cuando se confirman posibles maremotos provenientes

de sismos de otros focos en el perímetro del Océano Pacífico".

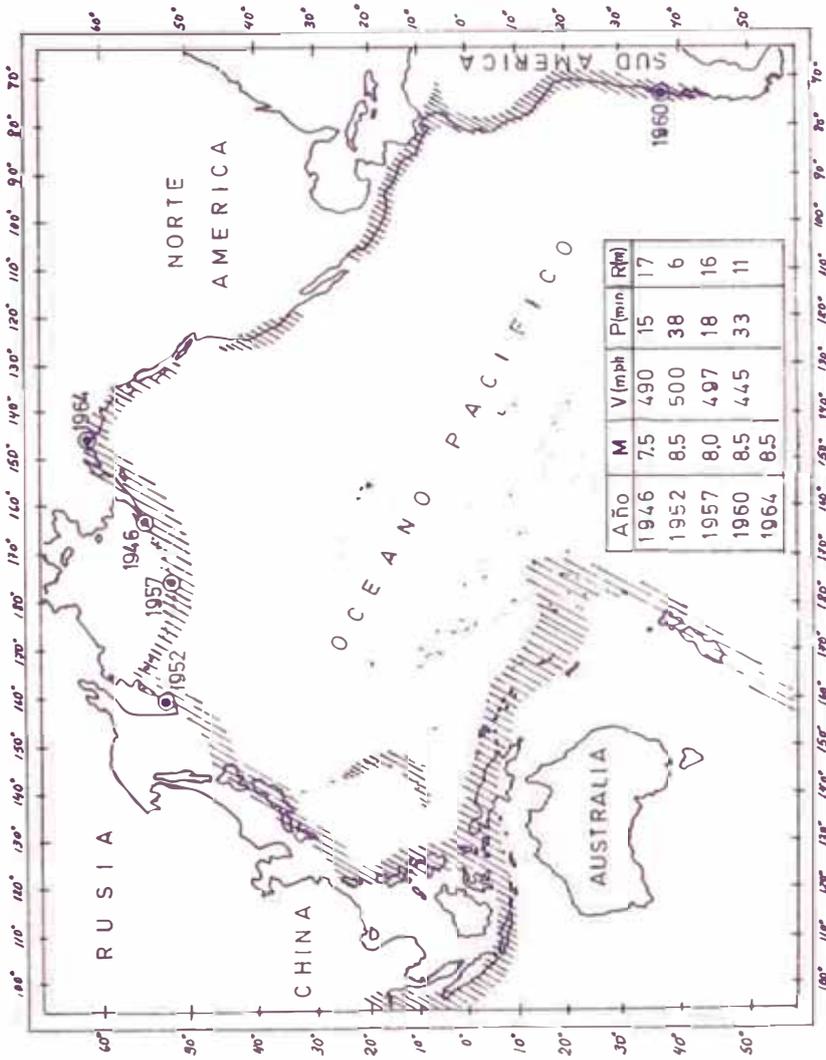
También, durante la TERCERA REUNION DEL GRUPO INTERNACIONAL DEL SISTEMA DE ALERTA CONTRA LOS TSUNAMIS EN EL PACIFICO (5) \*, realizada en Mayo de 1972 - Tokio - Japón; el Perú, representado por la Dirección de Hidrografía y Navegación del Ministerio de Marina del Perú, aparte de oficializar su participación como miembro del Grupo Internacional de Coordinación del Sistema de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico, en uno de los puntos de su informe sobre Programa de Investigación, manifestó que : "El Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) ha presentado un anteproyecto para el Estudio de la Sismicidad de los Andes Septentrionales, con la asistencia del programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Dicho programa de estudio, está programado para desarrollarse en el período 1974-78, en el cual, se considera el estudio de los Tsunamis en cuanto a frecuencia y características de los mismos y la influencia de la topografía costera y batimétrica en su comportamiento".

La posición geográfica de nuestro país de encontrarse formando parte del llamado "Círculo de Fuego del Pacífico", hace que se encuentre amenazado por los tsunamis, estos fenómenos en muchos casos al llegar a las costas, destruyen los puertos, inundan las ciudades, hundien las embarcaciones; en otros casos, esas ondas al haber perdido energía durante su recorrido a través del océano, solamente causan leves daños.

En el Océano Pacífico han ocurrido tsunamis más grandes que en cualquier otra región, siendo por lo tan

\* Los números entre paréntesis indican la bibliografía que se incluye al final de este trabajo.

FIG 1.) Epicentros de terremotos que originaron grandes tsunamis durante los últimos años (desde 1946) en el Océano Pacífico.\*



\* Se han achurado las zonas sísmicamente activas

- M Magnitud del terremoto (Escala de Richter)
- V Velocidad promedio del tsunami, en millas/hr.
- P Período registrado promedio del tsunami, en minutos
- R Máxima altura del runup registrada, en mts

to la unidad oceánica que tiene el más alto riesgo en cuanto a la presencia de estos fenómenos, esta circunstancia se debe al hecho de que está estructural, topográfica y sísmicamente condicionado para servir de campo propicio al desfogue de las tensiones telúricas.

La observación de un mapa de esta parte de la tierra, donde están ploteados los grandes sismos, nos muestran el porqué de lo expresado; el Océano Pacífico está cercado por un cinturón de gran actividad tectónica y un rosario de volcanes que configuran el llamado "Círculo de Fuego del Pacífico", y aún dentro esta área oceánica existe gran cantidad de grupos insulares sobre mesetas volcánicas, así mismo, el ochenta por ciento de la energía sísmica se libera en la zona de este Círculo de Fuego que constituye el sistema más activo de nuestro planeta.

Para su ubicación geográfica, podemos decir que este Círculo de Fuego parte del Sur de las Costas de Chile, sigue hacia el Norte de las Costas Occidentales de las Américas: Sur, Centro y Norte, continúa luego hacia el Oeste sobre la costa Sur de Alaska, el arco de las Islas Aleutianas, Kamchatka, sigue al Sur por las Kuriles y los Archipiélagos nipón y filipino, en esta región hay una bifurcación con una rama que se dirige al Oeste y la otra que continúa sobre el Pacífico hacia el Este por Nueva Guinea, Nueva Caledonia hasta Nueva Zelandia.

Según una estadística, en el transcurso de los últimos 2500 años fueron señalados más de 300 grandes tsunamis en las costas e islas del Pacífico y cerca de 30 en el Atlántico. En el Japón son notorios unos 17 casos de tsunamis, acompañados de destrucción de edificaciones costeras y víctimas. En Kamchatka y las Islas Kuriles, tsunamis destructores fueron señalados en 1737, 1792, 1918, 1923. La ciudad de Lisboa, sufrió el embate de

grandes tsunamis durante el sismo de 1755.

Según el Coast and Geodetic Survey: "En treinticinco años, de 1928 a 1965, han habido un total de 84 tsunamis, 66 de ellos (80%) ocurrieron en el Pacífico; seis en un solo año (1963) y no se presentó ninguno en los años 1930, 1935, 1937 y 1964; finalmente, de los que se generaron en el Pacífico, 34 no causaron daños; 3 hicieron escaso daño local, 17 causaron muertes y destrucción en las proximidades del punto de origen y 5 fueron geográficamente extensivos".

Desde el final del siglo pasado en que se publicó el primer trabajo sobre las causas de los tsunamis, se han realizado investigaciones sobre diferentes temas que engloba dicho fenómeno, pero a raíz de los dos últimos tsunamis más grandes del Pacífico, muchos países han intensificado enormemente los estudios de investigación sobre tsunamis.

Actualmente, sabemos que los países que más investigaciones han realizado en este campo son: Estados Unidos de Norte América, Japón, Rusia y Francia. Esos países han realizado investigaciones sobre tsunamis desde diferentes puntos de vista y a diferentes niveles.

Los trabajos de investigación fundamentalmente están proyectados en alguna forma hacia la prevención de daños. Unos tratan sobre teorías generales de generación y propagación de los tsunamis, otros sobre métodos numéricos para calcular la forma de una onda plana de tsunami en el océano abierto, otros sobre simulación hidráulica de entrada de tsunami en estuarios y formación de "bore".

Particularmente, en muchas universidades de los Estados Unidos de Norteamérica, se dirige investigación básica de tsunamis, Investigación básica y aplicada se

lleva a cabo en la Universidad de Hawai.

Cuatro grandes títulos podrían abarcar las investigaciones que se han hecho hasta la actualidad:

- a. Mecanismo del origen
- b. Propagación y Runup<sup>1</sup>
- c. Estudios en Modelos
- d. Instrumentación

No obstante, se está tratando de investigar predicción de tsunamis.

En a., se puede mencionar los trabajos más recientes del profesor Augustine Furumoto<sup>2</sup> de la Universidad de Hawai titulado "Source Mechanisms and Ionospheric Response" y por Thomas Sokolowski y Gay Lord Miller, "Determination of Epicenters from a Single Seismograph".

En b., parece que los estudios de propagación han recibido menos atención que los estudios de Runup, esto probablemente se deba al hecho de que el origen no es muy conocido, que la forma de las olas en océano franco es aún desmedida. Por otra parte el Dr. Lee-San Wang en estudios teóricos sobre respuesta de puertos a ondas de período largo tal como tsunamis, han derivado una solución generalizada para puertos de boca abierta o puertos de boca ancha; los profesores Carrier de la Universidad de Harvard y Shaw de la Universidad de Nueva York en Búfalo han derivado una solución para puertos de boca angosta y puertos con canales de larga entrada.

En c., el uso de modelos en la investigación de tsunami siempre ha tropezado con el problema de la escala verti

1 Ver conceptos en el Capítulo II

2 En varias partes de este trabajo se mencionan nombres de Científicos, cuyos trabajos, todavía no se encuentran en el Perú.

cal a horizontal, estos estudios en muchos casos, están concebidos para estudiar puertos, y son útiles para determinar que movimiento de agua puede haber si ocurriera un tsunami.

Considerando que nuestra materia en estudio, se realiza por primera vez a este nivel en el Perú, se ha tenido cuidado de presentarlo en forma sencilla de modo que resulte bastante comprensible por estudiantes de los últimos años de Ingeniería, En otras palabras puede considerarse una introducción del gran tema denominado "Tsunami".

Todo el Capítulo II es dedicado a los Tsunamis a un nivel general, se empieza mencionando algunos conceptos, causas y características generales del fenómeno, en seguida se indican algunos daños más saltantes causados por tsunamis anteriores, tratando de estudiar sus efectos y posibles influencias aprovechando los estudios ya realizados; introduciéndonos más en el tema, se mencionan algunas causas que influyen en las alturas a las que pueden alcanzar los tsunamis en las costas. Cualquiera estudio de daños por tsunamis no debe dejar de mencionar el papel que desempeña el Sistema de Alarma del Pacífico en la prevención de los Tsunamis, es así que al final de este capítulo se concluye con una breve historia, modo de operar y proyecciones futuras de este Sistema, no estando demás recalcar que el Perú es uno de los países que lo integran.

Tratándose de estudiar daños por tsunamis en el Perú, el área del Callao resulta ser la más importante, razón por la cual en el Capítulo III se describen las características generales de esta área.

La estimación de probables daños que se hace en el Cuarto Capítulo, está supeditada a una serie de suposi-

ciones que se hacen para las posibles hipótesis en que pueden presentarse los tsunamis (el conocimiento de las características del fenómeno nos muestran lo complicado que ello pueda resultar), al estado en que se encuentran las estructuras y/o edificaciones, y a la interpretación de los daños causados en otras áreas. La evaluación del estado en que se encuentran las estructuras y/o edificaciones, se realiza por dos métodos diferentes, es decir, para el Terminal Marítimo se encuestan todas las estructuras, y en el área de Viviendas se emplea el Método de Muestreo.

El Capítulo Cuarto concluye con la estimación de las probables pérdidas económicas, para lo cual, en el Terminal Marítimo se emplean valores económicos al 31/3/73, los que fueron proporcionados en sus oficinas; en el Área de Viviendas, el estimado de probables pérdidas económicas se hace en base a precios indicados en la Legislación Tributaria del Perú, previa tipificación de las viviendas.

Finalmente, en el Capítulo V se dan las conclusiones y recomendaciones, producto del estudio realizado en el área y de estudios o experiencias de otros países.

## C A P I T U L O    I I

### T S U N A M I S

En nuestro país, para las personas de cultura intermedia, la palabra TSUNAMI es casi desconocida, particularmente yo la escuché por primera vez en la Universidad con ocasión de una clase del Curso de Ingeniería Antisísmica, en cambio la palabra MAREMOTO, que es su equivalente si es conocida, y su mención genera una idea de desastre, que el mar se sale de sus límites normales, inunda las ciudades y tierras costeras, provocando grandes destrucciones. En realidad si bien es cierto que muchos de estos fenómenos son catastróficos, también es cierto que muchos de ellos pasan inadvertidos por la pequeñez de su amplitud con que llegan a las costas.

La palabra tsunami es de origen japonés (Tsu=puerto nami= ola) y es aceptada internacionalmente desde el año 1967, sirve para designar al fenómeno oceánico más conocido como maremoto. Algunos autores (véase: (4), (6), diario La Crónica p.6 del 2-6-60), hacen alguna distinción entre ambos términos, particularmente en dicho diario se dice que el maremoto proviene de un sismo con foco en las cercanías de la Costa o directamente bajo las aguas del mar y que las ondas longitudinales al llegar a la superficie terrestre, pueden retractarse propagándose hacia el mar, que son percibidas por las embarcaciones y que cuando el maremoto es interno, los mástiles se sacuden violentamente, llegando aún a romperse y puede inclusive zozobrar la embarcación, muchas de esas ondas matan los peces; en cambio dice que los tsunamis aparecen cuando el terremoto submarino es muy violento y se han producido desplazamientos verticales considerables en el fondo del mar. Otras veces, aunque muy pocas, son conocidas con el nombre de olas de marea (Tide Wave), esto

si es definitivamente erróneo, pues las mareas son movimientos periódicos diarios del nivel del mar de influencia astronómica, más bien, las palabras "Seismic Sea Wave" si equivalen a la palabra Tsunami.

En esta Tesis se considera que no existe diferencia entre las palabras Maremoto y Tsunami, de modo que significan lo mismo, sin embargo, se usará el término tsunami para el caso singular y tsunamis para el plural ya que así se usan en casi todos los trabajos e informes de carácter científico.

Al iniciar el estudio de los tsunamis, a partir de los siguientes acápites se da algunos conceptos tratando de definir esa palabra "nueva" señalando sus causas y características generales estudiadas por los científicos en pasado relativamente cercano.

En seguida se mencionan las características más importantes en lo concerniente a sus efectos (daños) de los tsunamis más grandes y recientes, tales como el tsunami chileno de 1960 y el tsunami de Alaska de 1964. El estudio de esos efectos serán de gran importancia para el estudio que se ha iniciado y que le interesa a la Ingeniería, pues ayudarán al Ingeniero a diseñar estructuras que podrían resistir olas de tsunami y reducir al mínimo las pérdidas de vida. En igual forma el estudio de daños por embarcaciones y a las embarcaciones son de gran interés.

No solo el estudio de los daños serán suficientes, sino que los estudios de investigación en sus diferentes niveles también son necesarios, razón por la cual, también se indican aquí algunos de esos estudios que fueron realizados por los investigadores. Todavía aquí no se pueden profundizar más en esos estudios, pues se necesitan gran preparación en matemáticas avanzadas.

## 2.10 Conceptos, Causas y Características Generales de

### Tsunamis

#### 2.11 Conceptos

Entre los varios conceptos que se han dado so  
bre los tsunamis, parece que aquel dado por Cox, 1963, es el que mejor los define, dice : "LOS TSUNAMIS SON TRENES DE ONDAS DE GRAN LONGITUD GENERADAS EN EL OCEANO O EN UNA PEQUEÑA EXTENSION DE AGUA, ASOCIADAS CON UNA DISTURBANCIA IMPULSIVA".

Los tsunamis empiezan con frecuencia por una onda negativa, es decir, por una retirada del mar más allá de sus límites normales, llegando después varias ondas positivas.

Según el lugar donde se originen y desde donde se los aprecie, los tsunamis pueden ser :

a. Tsunami de origen local, cuando se origina en las cercanías de una región de referencia.

b. Tsunami de origen lejano o transoceánico, cuando la disturbancia causante se halla a muchos kilómetros de la región de referencia.

Según se verá después, los desplazamientos tectónicos son causantes de muchos de ellos, en estos casos, además de las ondas principales, se originan dos tipos más de ondas:

- Ondas Locales
- Seiches

Las Ondas Locales se caracterizan porque ocurren junto con el terremoto asociado o pocos minutos después. Los investigadores han encontrado evidencias de su probau

Magnitud de Tsunamis\*

La magnitud "m" de un tsunami fue definida por Imamura (1949) y y redefinida por Iida (1958). Se clasifica Por la altura del tsunami de la siguiente manera (13) : m = -1, 0.5 mts. ó menos; m = 0, 1 mt ; m = 1, 2 mts; m = 2, 4-6 mts; m = 3, 10-20 mts; m = 4, 30 mts ó más; con esa escala está construída la Fig. 2.7.

Después de Iida (1963a), apareció una clasificación con más grados (12), como sigue:

Tabla 2.1.- Magnitud y elevación run-up de tsunamis en Japón.

Magnitud (m)	Máx. elev. run-up (mts)
5	> 32
4.5	24-32
4	16-24
3.5	12-16
3	8-12
2.5	6-8
2	4-6
1.5	3-4
1	2-3
0.5	1.5-2
0	1-1.5
-1	0.50-0.75
-2	< 0.30

\* Esta página habla sido omitida por error, pero ha sido incluida finalmente por considerarse indispensable.

ble mecanismo de generación, uno de esos mecanismos, quizás el más común y solamente el único convenido por esos científicos, es el derrumbamiento o asentamiento de los sedimentos en la cabecera, lados o fondo de un fiordo, especialmente el asentamiento rotacional de un delta.

Otros mecanismos sugeridos como aplicables a uno o más lugares de generación de onda local son :

1.- Desplazamiento horizontal del banco de roca natural del fiordo junto con el resto de la corteza.

2 Declive (inclinación) de un fiordo o fondeo resultante de un desplazamiento de la corteza diferencial vertical.

3.- Fallamiento de "block" en el piso de un fiordo

Los Seiches.- Son ondas generadas por acoplamiento resonante del agua con oscilaciones de la corteza. En el tsunami de Alaska, este tipo de ondas se generaron en áreas lejanas, en los canales mediante resonancia con ondas sísmicas de superficie en la corteza terrestre.

## 2.12 Causas de los tsunamis

Existen varios mecanismos causantes de tsunamis, el autor Wiegell enumera las siguientes :

a.- Desplazamientos tectónicos asociados en terremotos (Ej. Tsunami de Alaska, 1964).

b.- Explosión de islas de origen volcánico (Ej. Krakatoa, en 1883).

c.- Derrumbamientos sumergidos (Ej. Bahía Sagami, Japón en 1933).

d.- Caídas de rocas en bahías o el océano (Ej

Bahía Lituya, Alaska, 1958).

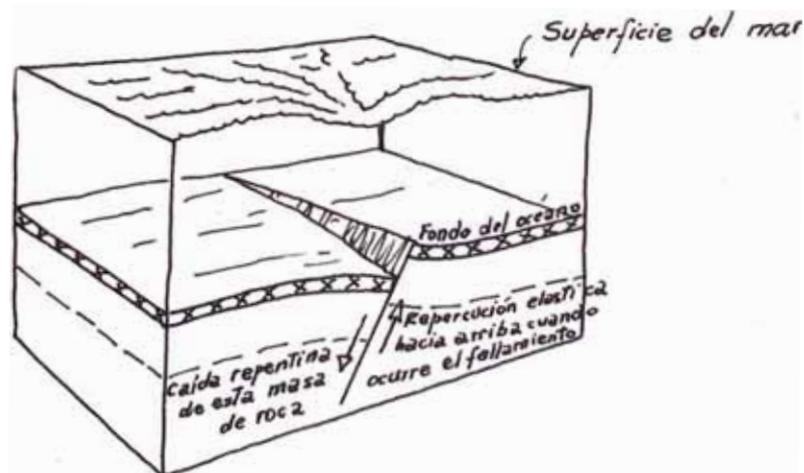
e.- Explosiones bajo agua de artefactos nucleares.

A dichas causas enumeradas por dicho autor, hay que agregar :

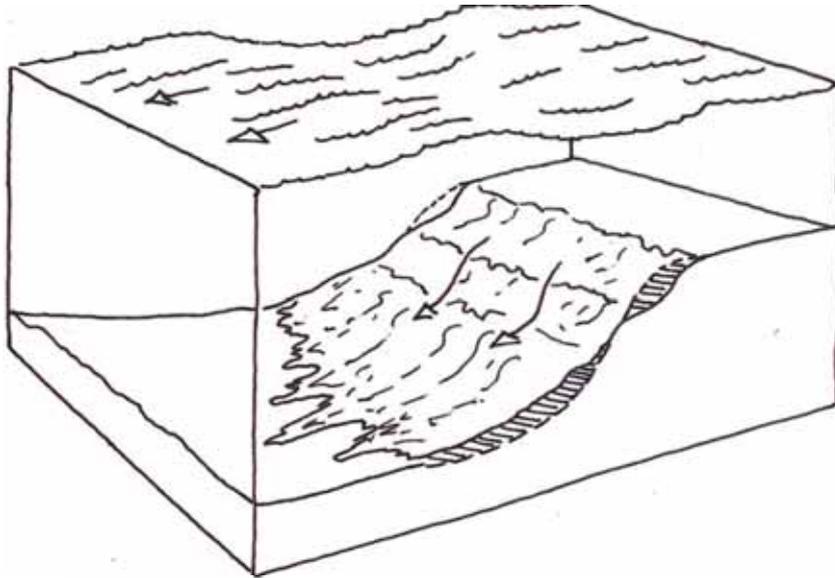
f.- Caída de meteoritos en el océano.

Los tsunamistas están de acuerdo que los desplazamientos tectónicos son los generadores más comunes de tsunamis (en el resto de esta tesis solamente se referirá a ellos, a menos que se indique expresamente lo contrario); si dichos desplazamientos tienen una gran componente vertical, entonces los resultados son tsunamis de grandes magnitudes.

Fig. 2.1 Croquis mostrando dos casos de orígenes de tsunamis :



1.- Una falla en la roca de la corteza, causa un descenso rápido de una parte del fondo del mar. La superficie de agua arriba, también falla y se generan una serie de ondas.



2.- Un desprendimiento de sedimento suelto acumulado en la cumbre de una pendiente submarina escarpada es puesta en movimiento por un terremoto cercano.

### 2.13 Características Generales

Se considera aquí algunas características más importantes de los tsunamis, como son :

- Altura de ola
- Longitudes de onda
- Número de olas
- Velocidad de propagación
- Períodos
- Otros aspectos

Estas cualidades o características están íntimamente ligadas a factores influyentes tales como : Posición del o rigen, magnitud del sismo que lo genera, geología de los

alrededores del epicentro, profundidad del océano, momento en que se origina, batimetría costera, forma de la costa, etc.

Las observaciones registradas en muchos tsunamis han permitido a los científicos o investigadores dar rangos dentro de los cuales pueden variar estas características generales, naturalmente que hay pequeñas diferencias entre los autores al dar números, pero que son de poca importancia.

a.- Altura de Ola.- 1. En alta mar, las ondas de un tsunami tienen alturas tan pequeñas que no son perceptibles a simple vista, ya desde un buque o de un avión, asimismo no pueden ser detectadas ni aún con los instrumentos más modernos.

El paso de las ondas produce simplemente un ligero aumento y depresión de la superficie del mar, las alturas pueden alcanzar de 30 a 60 cms.

2. Cerca de la costa, las olas al aproximarse y conforme las profundidades se hacen menores, incrementan su altura debido a la acumulación del agua.

Las mayores alturas han excedido de 30 mts.

b.- Longitud entre crestas.- En alta mar las olas presentan gran longitud, la distancia entre crestas sucesivas puede llegar a ser de 300 a 400 millas náuticas.

Al aproximarse a las costas acortan su longitud de onda.

c.- Número de Olas.- El número de olas también es variable, han habido casos que se han contado hasta seis olas, en otros casos se han registrado tres.

d.- Velocidad de las Ondas.- En mar profundo y océano libre la velocidad de propagación de las olas es-

tá regida por la fórmula de Airy :  $v = \sqrt{gh}$ , donde "h" es la profundidad del océano, "v" la velocidad de las olas, y "g" la constante de gravedad.

Los tsunamis se difunden sobre la superficie oceánica con velocidades de 400 a 800 Km/hora.

e.- Períodos.- Los períodos varían de 15 a 40 minutos. Cuanto más grande es la magnitud del terremoto generador del tsunami, mayor es el período de las olas.

Bajo ciertas condiciones la cresta de una onda que se aproxima puede alcanzar el seno de la precedente mientras se encuentran a distancia de la costa. Esto hace que la onda avance hacia la playa como un barrano - una onda de frente revuelto y escarpado.

## 2.20 Daños observados en tsunamis anteriores

Existen muchas variedades de daños por tsunamis, la magnitud de ellos será consecuencia también de muchos factores tales como : Magnitud del tsunami que podría estar dado por la altura de las olas; y esta altura en muchos casos función de la magnitud del terremoto que las genera; dirección, número y fuerza de las olas; la posibilidad de protección natural, que podría estar dada por las islas cercanas a la costa; las formas de la costa; topografía del terreno playero batimetría del litoral; el tipo de suelo; la geología del terreno; la orientación de la costa (para el caso de tsunamis transoceánicos); sismicidad y posibilidad de fallas en la región (para el caso de tsunamis locales).

De lo expuesto se desprende que cada región susceptible a ataques por tsunamis, tiene sus propias peculiaridades, las que determinarán la variabilidad de daños.

Por otra parte las pérdidas de vidas humanas serán mayores o menores, si el Sistema de Alarma del Pacífico y los Sistemas Regionales, puedan actuar con oportunidad en sus fines, así mismo, la educación de las personas será otro factor influyente.

Claramente otros factores serán la calidad y cantidad de edificaciones, estructuras, emplazadas en áreas potenciales a ataque de tsunamis. Las estructuras o edificaciones a estudiar plantearán otra serie de variables en el análisis de daños, como son: tipo de estructura, antigüedad, diseño, posición ante la dirección de la ola, posibilidad de ser chocada por embarcaciones u otros objetos.

Realizar un estudio anticipado de daños por tsunami resulta ya una tarea bastante complicada, y sería imposible considerar en este estudio todos los factores mencionados anteriormente.

Por ahora se cree que la manera más apropiada de hacer un estudio de daños por tsunamis es describiendo principalmente los aspectos de las olas dañinas y sus consecuencias. Un análisis de la experiencia de Alaska, básicamente, constituye en forma relativa un caso bien ilustrado, sin embargo, no se dejará de mencionar algunas otras experiencias tal como el tsunami chileno de 1960.

La experiencia de Alaska muestra claramente varias maneras por las cuales las comunidades de las tierras ribereñas pueden ser hechas más resistentes a la acción de tsunamis, al mismo tiempo nos plantea problemas que necesitan mayor investigación.

2.21.- Daños por el Tsunami de Alaska de 1964

El tsunami de Alaska fue ocasionado por el terremoto de Alaska, ocurrido el 28 de marzo a las 0336 GMT, ó 1736 del 27 de Marzo Tiempo Standard de Alaska.

La magnitud del terremoto fue computado como :

(a) 8.3 a 8.4 Escala de Richter por US Coast and Geodetic Survey.

(b) 8.4 por el Observatorio de Pasadena

(c) 8.5 a 8.75 por el Observatorio de Berkeley.

El epicentro fue ubicado (por el Coast and Geodetic Survey) en :

Latitud 61.1° N

Longitud 147.7° W + 15 kms.

Profundidad focal de 20 a 25 kms.

En 24 horas después del terremoto, ocurrieron 28 temblores secundarios, de los cuales 10 sobrepasaron el grado 6 de la Escala de Richter. Durante una semana se sintieron 75 sacudidas de magnitud importante.

Las ondas marinas que se originaron asociadas al terremoto, fueron de tres clases :

(a) Un tren de ondas más grandes generadas por la elevación del Zócalo Continental del Golfo de Alaska.

(b) Ondas Locales, generadas en áreas cercanas de Alaska.

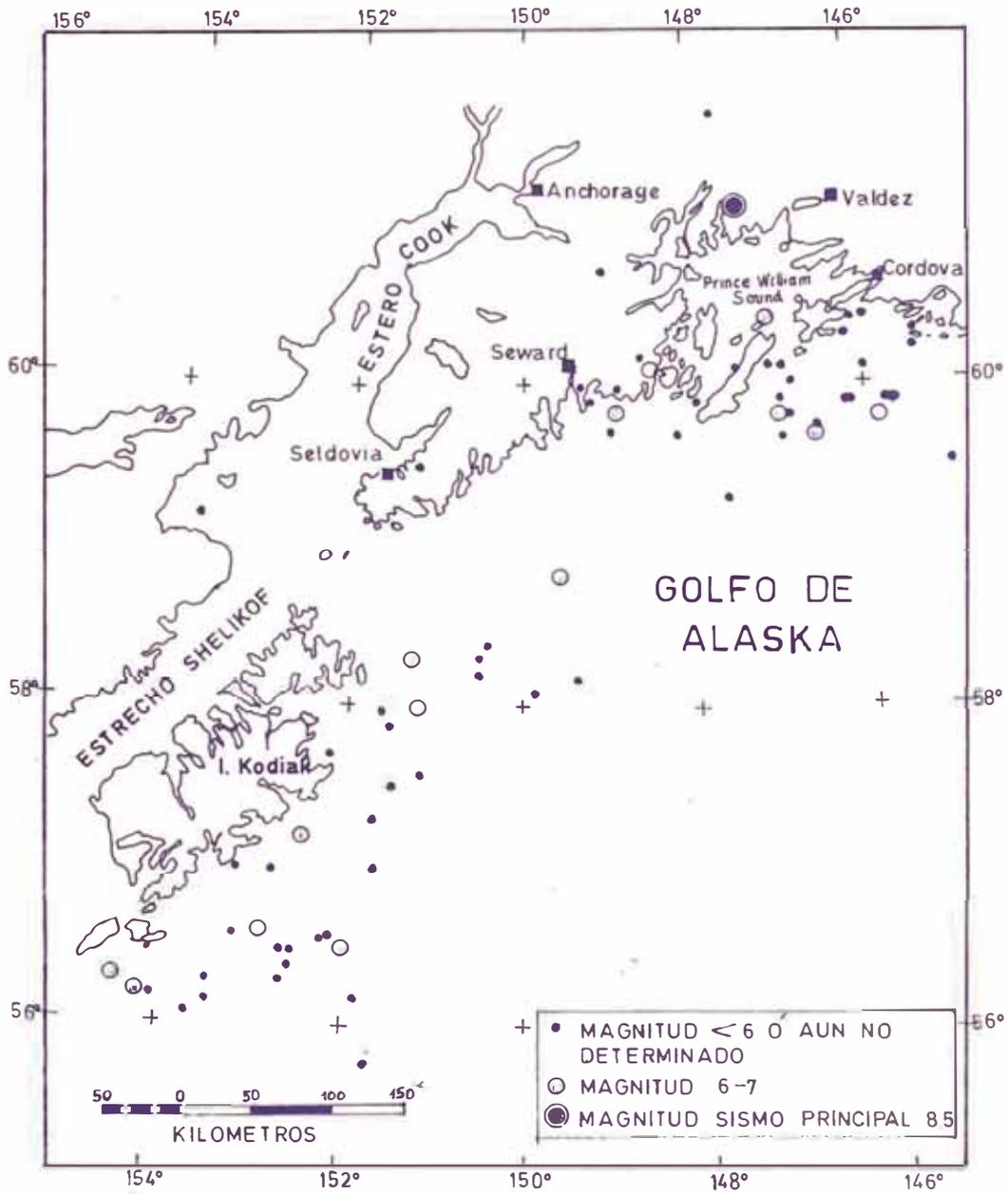
(c) Seiches, ondas generadas en áreas lejanas de Alaska.

a.- Daños en Canadá

Los daños más serios ocurrieron en Puerto Alberni, allí las olas del tsunami, amplifica

TSUNAMI DE ALASKA

FIG 2.2 Mapa que muestra el epicentro del Terremoto de la Prince William Sound, 28 de Marzo de 1964, y de sismos secundarios



das grandemente, llegaron durante la alta marea viva (rango cercano a 5 m.). Las tres primeras olas destructivas arrastraron con todo, casas, naves, palos, y otros objetos móviles. Las estructuras de muelles fueron mantenidas a flote y dobladas. El daño, sólo en Puerto Alberni, fue estimado en \$10 millones. No hubo pérdidas de vida.

b. Daños en la Costa de Oregón (EE. UU.)

La magnitud del daño en Oregón, fue debida probablemente a su ligera concavidad que favoreció un ataque más directo. El daño se estimó en \$750,000. Cuatro muertes fueron reportadas.

c. Daños en la Costa de California (EE.UU.)

Más fuertemente golpeada fue Crescent City donde las olas del tsunami ocurrieron como mareas de rápido ascenso, las cuales inundaron la costa y partes bajas de la ciudad a una altura de 6 m. sobre el MLLW<sup>1</sup>. Las olas causaron gran daño a edificaciones y automóviles. La finca de tanques de la Texaco fue puesta en llamas como consecuencia directa de las olas. El daño en Crescent City se estimó en \$11 millones. Doce personas fueron muertas.

d. Daños en Valdez

Valdez está ubicado en la parte norte de "Prince William Sound", durante el terremoto, la vibración causó el derrumbe de lo inestable, material saturado de agua, y una cuña de grada de aproximadamente 1200 m. de largo y 180 m. de ancho, se cayeron al mar, llevándose el área del muelle y parte de la ciudad. El derrumbe generó una onda local que golpeó con fuerza la tierra ribereña.

---

<sup>1</sup>MLLW, significa promedio de las más bajas bajamares.

Casi junto con el terremoto dos olas alcanzaron alturas de 5.5 y 6 m. sobre el MLLW. Entre las 2300 hrs. y media noche otra ola se elevó a 6 m. cerca de la 0145 hrs. una ola se elevó a 7 mts. Esas olas causaron daños a los muelles, un puerto para naves pequeñas, tanques de petróleo, edificaciones trituradas o llevadas a flote.

El daño total ascendió a S/.12.5 millones. Además 31 personas perdieron sus vidas durante el derrumbe y o las siguientes.

#### e. Daños en Seward

Parece que el efecto inmediato del terremoto fue sacudir libremente una larga rebanada de la parte empinada del delta glaciario, la que probablemente se deslizó como una corriente de densidad constante, dando como consecuencia un descenso del nivel del agua, retroceso con sacudimiento y vibración de los tsunamis (Ver : Wilson y Torum P. 499 ).

La ola generada por derrumbe tenía una altura máxima de 9 m. en Lowell Point y causó daño a embarcadores del ferrocarril.

La primera ola del tsunami principal, destruyó muelles del ferrocarril de Alaska, llevándose líneas férreas y puentes de carretera, material rodante de ferrocarril apilados en grandes montones. Extendió petróleo inflamado sobre la tierra ribereña, incendiando el material rodante, la planta de generación eléctrica y algunas residencias (ver: Spaeth y Berkam, p. 4).

#### f. Daños en Whittier

Según evidencias, las olas que des-

truyeron el distrito de Whittier fueron principalmente o las de desplazamiento creadas por movimiento tectónico horizontal transversal y hundimiento submarino de la falda y base de los depósitos glaciales no consolidados sobre los cuales está fundada la ciudad.

Las olas alcanzaron alturas de 9 m. sobre el MLLW a lo largo de un amplio frente, y 12 m. en lugares localizados (Ver : Wilson y Torum p. 502).

El barrio ribereño mayormente fue destruido por el colapso de las cimentaciones, resultado de derrumbes submarinos y asentamiento regional de 1.60 m.

Por otra parte Spaeth y Berkam p. 5 en "The Tsunami of March 28, 1964, as Recorded at Tide Stations", señalan que 3 olas golpearon Whittier, siendo la segunda que causó la mayor parte de daños, alcanzando una altura de 32 m. sobre el MLLW. Estas olas destruyeron: dos aserraderos, el patio de tanques de la Cía Unión Oil, muelles y edificios, la estación del ferrocarril de Alaska, numerosas viviendas de madera. 13 personas fueron muertas.

#### g. Daños a las embarcaciones

En los Puertos donde el tsunami golpeó con fuerza, las embarcaciones menores fueron hechas a pique o llevadas a tierra. En muchos casos, el hundimiento se debió fundamentalmente al efecto directo del impacto, en otros casos las naves fueron zozobradas cuando sus amarras se las impidieron elevarse junto con el ascenso del agua.

Otros casos de zozobra se presentaron cuando las naves al ser abandonadas en seco por el descenso del nivel del agua y luego elevarse nuevamente y más aún con fuerza, casos como este se presentaron en Kodiak.

En cambio, en Valdez muchas embarcaciones mayores resistieron al embate del tsunami. Un caso notable lo constituye la supervivencia del buque CHENA de 10,00 ton. durante las olas generadas por derrumbe. Todas las naves más pequeñas en ese puerto fueron completamente destruidas.

En Seward, el barco-tanque ALASKA STANDARD de 2,000 ton. también resistió las olas generadas por derrumbe, mientras que las naves más pequeñas fueron grandemente dañadas o destruidas.

Las grandes embarcaciones ancladas al espigón marginal y al Muelle de Carga de la Estación Naval de Kodiak, así como una gran barcaza de madera anclada al Muelle Citizens en Crescent City, resistieron bien el tsunami, Sin embargo, esas embarcaciones dañaron fuertemente las estructuras del muelle, particularmente en Crescent City.

## 2.22 Daños por el Tsunami Chileno de 1960 \*

El tsunami chileno de 1960 fue ocasionado por un terremoto ocurrido a las 1910 horas del tiempo medio de Greenwich (GMT) del 22 de mayo, ó 1510 horas del 22 de mayo, hora oficial de Chile.

La magnitud del terremoto fue computado como

8 1/4 a 8 1/2 Escala de Richter

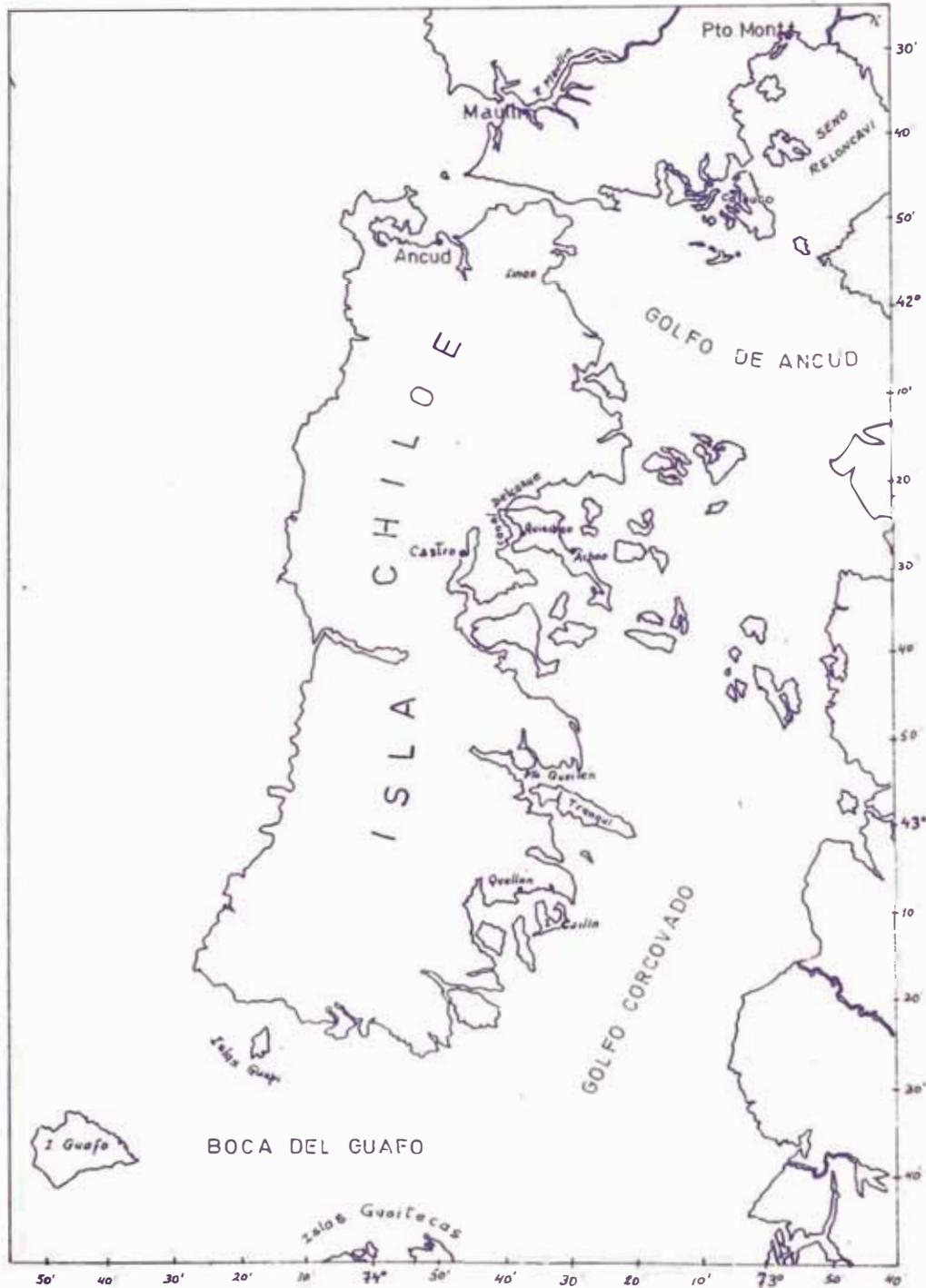
El epicentro fue ubicado al Sur de Chile,  
en:

Latitud : 41° S

Longitud: 73° W

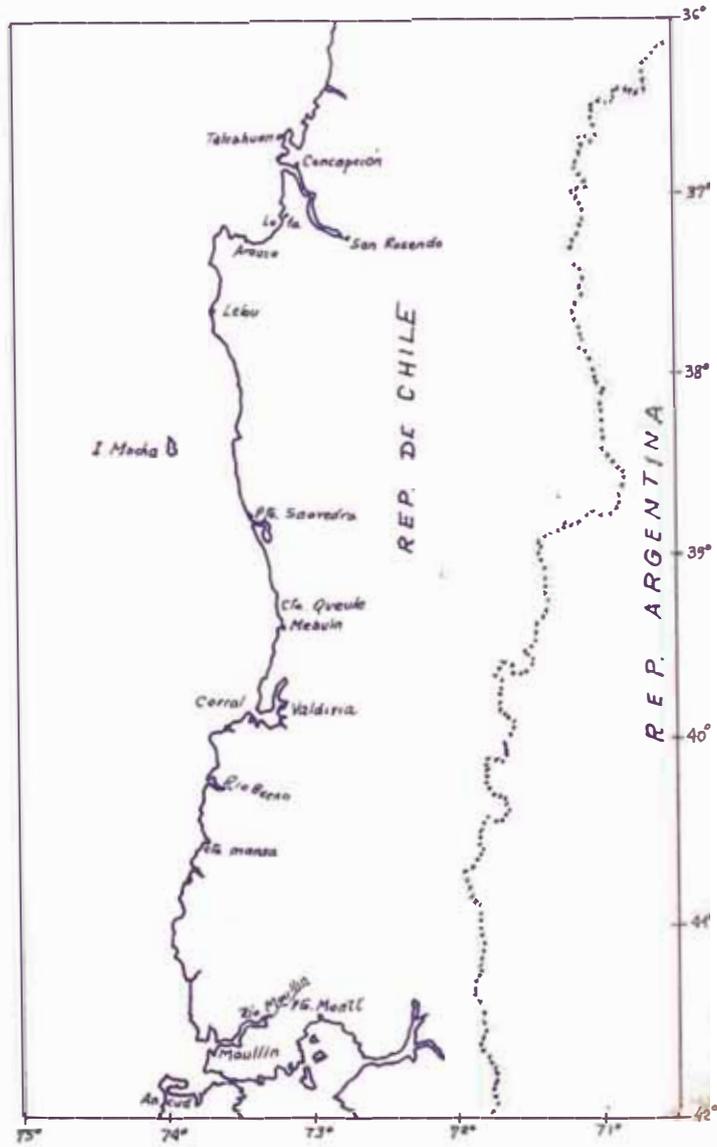
\* Para ubicación de los lugares que a continuación se mencionan, ver figuras 2.3 y 2.4.

TSUNAMI CHILENO DE 1960  
FIG 2.3 LA ISLA DE CHILOÉ Y VECINDADES



TSUNAMI CHILENO DE 1960

FIG. 2.4 Localidades entre Ancud y Talcahuano



Fue el segundo gran terremoto ocurrido en ese país en esos días, pues a las 0604 horas del 21 de mayo, había ocurrido otro terremoto con epicentro en la Provincia de Concepción.

El tsunami fue causa de extensos daños a través del Pacífico.

En este tsunami se puede apreciar claramente algunas formas en que se presenta el tsunami (sin considerar por el momento las influencias que causan tal comportamiento) para así tener una idea del tiempo, entre otros factores, del que se pueda disponer en el caso de ocurrencia del fenómeno.

Este tiempo será un factor fundamental en nuestro interés de prevención cual es el de salvar vidas de las poblaciones ribereñas que puedan ser afectadas por tsunamis. No está demás recalcar que este tsunami fue de origen local para las Costas de Chile, ya que otros casos lo constituyen los tsunamis transoceánicos o de origen lejano, en este último caso el "Sistema de Alarma del Pacífico contra Tsunamis" proporcionaría oportunamente las mejores informaciones de tiempos que en la mayoría de los casos son suficientes para salvaguardar las vidas de los habitantes de la Costa.

Para no variar el sentido de las narraciones se ha creído conveniente presentarlas con las mismas palabras<sup>1</sup> tal como se encuentran en el reporte titulado: "El Maremoto del 22 de mayo de 1960 en las Costas de Chile"

1 En algunos casos se ha eliminado algunos lugares, y en otros se ha recortado por no considerarse de mayor importancia aquí.

a. Daños en Aysen, Chacabuco, Aguirre y Melinka

La primera ola llegó a las 1710 horas, prácticamente 2 horas después del sismo; inundó algunas casas, entre ellas la oficina de la Alcaldía de Mar. No hubo estimación de la altura de la ola.

A las 1720 horas, llegó el tsunami a Puerto Aguirre con una altura de más o menos 3 mts. sobre el nivel del mar

A las 1730 horas llegó a la desembocadura del Río Aysén con una altura estimada a 3 m. snmm\*. La ola llegó en momentos de baja marea. Inundó casas de la ribera que normalmente quedan sobre el nivel de las pleas, aún de las más altas; 10 minutos más tarde se sintieron los efectos de esta onda en Aysén alcanzando un sobrenivel de 1 metro, esta inundación fue sin rompientes.

Entre Melinka y Puerto Aguirre, separados entre sí por 77 millas en línea recta, la onda se desplazó a una velocidad aproximada de 460 nudos, desde luego este valor se considerará con mucha reserva debido a que las horas de llegada son aproximadas.

Entre Puerto Aguirre y la barra de la desembocadura del Río Aysén hay aproximadamente 42 millas, distancia recorrida en 10 minutos dando una velocidad de 250 nudos,

De la barra a Puerto Aysén hay 7 millas, las que fueron recorridas en 10 minutos dando una velocidad de 40 nudos.

b. Daños en la Isla Guafo

Aproximadamente 10 minutos después del terremoto, el mar empezó a retirarse lentamente hacia el Oeste hasta dejar al descubierto alrededor de 600 metros de fondo marino. Junto con retroceder se fue formando

\* snmm = sobre el nivel medio del mar.

una gran ola, la que avanzó de pronto sobre la isla a gran velocidad. La dirección de las olas fue de Oeste a Este, después de chocar con la costa de la isla fueron reflejadas hacia el No-Este. Posteriormente se comprobó que el agua había alcanzado una altura de 10 metros.

c. Daños en Quellón

Alrededor de 5 minutos después del terremoto se retiró el mar unos 50 metros para comenzar a subir lentamente llegando a su máximo 7 horas después. En ningún momento hubo oleaje y más parece que la subida de las aguas obedeció a la marea que al maremoto,

d. Daños en Achaó

Las primeras manifestaciones del maremoto se comenzaron a producir 5 minutos después del terremoto. ...Unos momentos después se vio como se formaba una ola, más o menos a una milla frente al Puerto, la que se abalanzó hacia la costa. Poco después siguieron dos olas más, que se formaron aproximadamente en la misma parte.

e. Daños en Ancud

La primera evidencia del tsunami fue un aumento anormal del nivel del mar de aproximadamente 1 metro, 20 minutos después del terremoto. Después de esta elevación del agua el mar comenzó a recogerse, aumentando rápidamente la velocidad de su desplazamiento....La Costa de la bahía fue azotada 50 minutos después del terremoto por una gran ola que se formó frente a ella en un lugar no bien precisado.

f. Daños en Faro Punta Corona

Entre 8 a 10 minutos después del terremoto vieron que el mar comenzó a retirarse de la playa en forma lenta hasta dejar al descubierto alrededor de 500 metros de fondo marino. Este proceso duró alrededor de 10 minutos. Junto con retroceder se iba formando, aproximadamente a 800 metros de la costa, una enorme ola de 15 a 20 metros de altura... De pronto esta verdadera pared de agua, avanzó a gran velocidad y con gran fuerza en dirección de la costa. En su paso por sobre el Istmo Yuste arrasó con unas casas que allí había y con todas las embarcaciones menores que encontró a su paso.

g. Daños en Maullín

Se produjo el tsunami más o menos 20 minutos después del terremoto, Su primera evidencia fue un recogimiento de las aguas, seguida por 8 olas de proporciones de las cuales la segunda y la cuarta fueron las más altas, estimándose sus alturas en 14 metros. Las aguas penetraron profundamente al interior y las olas se propagaron río arriba, con gran fuerza destruyendo todo lo que encontraron a su paso.

h. Daños en Caleta Mansa

El tsunami comenzó 15 minutos después del terremoto en forma de una ola con altura estimada en 8 metros seguida por dos olas más, con intervalos de 10 a 15 minutos y con alturas progresivamente mayores.

La segunda ola tuvo una altura de aproximadamente 10 metros y la tercera fue estimada en 12 metros. Después el fenómeno comenzó a declinar man

*teniéndose las condiciones del mar durante varios días.*

*i. Daños en Mehuín*

*La primera evidencia del tsunami fué un rápido aumento de la vaciante del agua del Río Mehuín o Lingue. 15 a 20 minutos después del terremoto, comenzó una rápida y gran crecida del río, seguida de inmediato por una enorme masa de agua que se precipitaba arrastrando las casas que había en la desembocadura del río y comenzaba a arrasar las primeras de la Caleta La formación de las olas, tres grandes en total, fue apreciada más o menos a 3 mil metros de la costa. La ola más alta fué la tercera, la que habría tenido 8.50, metros de altura.*

*j. Daños en Queule*

*Una descripción hecha por Weis chet sobre las consecuencias del terremoto y tsunami dice : "Ninguna casa quedó intacta y los escombros se encuentran a 2 Kms. hacia el interior junto con los restos de botes pesqueros y árboles desarraigados, diseminados dentro de un bosque fangoso o sobre una vega al pie de la cordillera de la Costa. La altura de la rompiente que pasó sobre el pueblo alcanzó los 4 metros a su llegada a las primeras causas, testigos del hecho son los pedazos de madera flotantes que han quedado enredadas en un grupo de árboles mirtáceos..."*

*k. Daños en el Puerto Saavedra*

*El terremoto prácticamente no produjo daños en la población pero el tsunami la devastó casi completamente.*

*La primera evidencia del tsunami*

fue un gran recogimiento de las aguas que dió origen a un aumento de la corriente del río, 25 a 30 minutos después del terremoto. Poco después alcanzó la costa la primera de una serie de ondas de 3 a 4 metros de altura que arrasó parte del cordón litoral. La tercera ola fue la más grande de todas. Se la ha calculado una altura de 7 a 8 metros y fue la que destruyó totalmente el pueblo...

#### l. Daños en la Isla Mocha

El tsunami comenzó aproximadamente 10 minutos después del terremoto, siendo su primera evidencia un recogimiento de las aguas en 100 a 200 metros. Luego siguieron 3 olas que se desplazaron hacia la isla desde el Sur-Oeste, afectando por lo tanto con mayor intensidad la costa Sur y Oeste.

La primera ola fue la más alta alcanzando una altura estimada en 15 metros.

Las casas de los pobladores como así mismo las dependencias del faro, muelle, etc. ubicadas en Caleta La Hacienda fueron arrasadas totalmente.

#### m. Daños en Lota

A las 1600 horas, se recogió el mar más o menos 50 metros medido en sentido horizontal. Poco después llegó la primera ola, la que inundó más o menos hasta 20 metros más arriba del límite de las pleamares de sicigias. Este fenómeno se repitió 5 veces siendo la última salida a las 0200 horas del 23 de Mayo. La anomalía se mantuvo hasta el 27 de mayo pero decreciendo. La altura vertical medida de las ondas fue de 1.50 metros sobre el nmm.

n. Daños en la Isla de Pascua

El jefe militar de la Isla estimó la altura de las olas en aproximadamente 6 metros. Hay evidencia que el mar penetró 500 metros en las zonas bajas de la isla, ayudado probablemente por un fuerte viento del Sur que reinaba ese día. El tsunami derribó estatuas erigidas en el pasado.

El Reverendo Padre Sebastian Englert entre otras cosas manifestó : "Las olas del mar parecen haber jugado con las pesadas estatuas como pelotas, una de estas fue trasladada como 100 metros de distancia, y medía 6 metros de largo y 3 metros en la parte más ancha del tronco, de un brazo a otro se puede calcular que pesa a lo menos unas 20 toneladas métricas".

o. Daños en Hilo, Hawaii

Para este lugar el tsunami fue de origen lejano. Las evidencias indicaron que la tercera ola se aproximó a la playa del Puerto de Hilo con una altura de 4.5 m s. n.m.m.<sup>1</sup> avanzando tierra adentro con fuerte velocidad.

Las evidencias de los daños estructurales indicaron que la altura del agua con fuerte velocidad recorrió de 2.4 a 3.7 m. s. n. t.<sup>2</sup> corriendo de 8 a 12 m/seg

Los análisis de los elementos estructurales específicos indican que el agua ejerció fuerzas laterales mayores de 1950 Kg/m y menores de 8700 Kg/m, con un punto promedio de 3400 Kg/m<sup>2</sup>.

1 s n m m = Sobre el nivel medio del mar

2 s n t = Sobre el nivel del Terreno.

Daños en edificios.- La fuerza del agua derribó todos los pórticos ligeros de edificios y estructuras pesadas de madera.

Los daños a las estructuras de acero y estructuras de concreto armado fueron de grados variados.

Las construcciones de concreto armado correctamente diseñadas, pareció que resistieron la fuerza del agua.

Los daños eran particularmente severos en los frentes de edificios que estaban abiertos o cubiertos por vidrios.

Hubo evidencia definitiva que las estructuras fuertes sirvieron como defensa de las estructuras menos resistentes que se hallaban aguas abajo de las primeras.

#### p. Daños en las Islas Samoa

El Archipiélago de Samoa, está alrededor de 1500 millas al nor-este de Nueva Zelanda.

El mayor daño en esta zona ocurrió en el Puerto Pago Pago (Samoa Americana), este puerto está a una distancia circular de 5,937 millas desde el epicentro. Según el mareograma de Pago Pago, el tiempo calculado de llegada del tsunami fue de 12 horas 24 minutos, lo que daba una velocidad media de 702 pies/seg., en realidad el tsunami del 22 de Mayo arribó a Samoa bastante adelantado con respecto al tiempo estimado de llegada, en el caso, Green (1946) sin embargo, ha señalado que la probable trayectoria no es necesariamente el único gran círculo del epicentro.

Allí la altura de la ola fue de 4.70 m. (+2.90 a -1.80).

Mr. E. Branton, del Departamento de reconocimiento hizo el siguiente análisis de daños :

"Una casa fue levantada y movida alrededor de 3 m. tierra adentro y otra fue llevada dentro de la bahía por la ola de reflujo. Un colegio básicamente construido sobre pilares de concreto, fue rotado alrededor de una zapata con la consiguiente torción de casi todos sus miembros estructurales".

El daño en aquel tiempo fue estimado en ese lugar en : 50 mil dólares.

#### q. Daños a embarcaciones

Como en el tsunami de Alaska, las embarcaciones menores fueron presa fácil del tsunami en las costas de Chile, en cambio las embarcaciones mayores que en Alaska resistieron el tsunami, en Chile no les fue bien, tal es el caso de 3 grandes barcos chilenos los que fueron sorprendidos en estrechas vías acuáticas donde la acción de violentas corrientes de oleaje los llevaron fuera de control.

En los lugares Bahía y Puerto Corral, se encontraban fondeados esos tres buques de la Marina Mercante: el "Canelos", el "Carlos Haverbeck" y el "Santiago". El terremoto fue sentido a bordo con gran violencia, los buques se estremecían fuertemente y los palos y plumas se bamboleaban dando la impresión que podían quebrarse.

Un muelle al cual estaba amarrado el "Santiago" se desmoronó, debido al impacto del buque.

Los buques fueron arrastrados y golpeados contra la costa y varados; de los tres se perdieron totalmente los dos primeros.

Los movimientos a que estuvieron sujetos esos buques y sus trágicos fines están descritos minuciosamente en el reporte titulado "El Maremoto del 22

de Mayo de 1960 en las Costas de Chile".

## 2.30 Estudios sobre Tsunamis

### 2.31 Altura y runup de ola de tsunami

a. Conceptos.- Se denomina runup a la elevación que alcanza el agua en la playa - con respecto al nivel de la marea en el momento que llega la ola del tsunami.

La elevación runup no es la misma que la altura de la ola, la cual es la distancia vertical entre la cresta y la depresión de la ola del tsunami.

b. Altura y runup máximos de olas de tsunami cerca del origen.- Estudiosos en la década pasada y presente han tratado de correlacionar la altura de la ola del tsunami cerca del origen con la magnitud del terremoto.

Wilson y otros (1962) y Wilson (1964), sin considerar la energía del terremoto y la magnitud del tsunami, se basaron en estadísticas japonesas y encontraron una curva empírica que abarcaba los límites superiores de los datos, esta ecuación es

$$\log H_{\max} = 0.75M - 5.06 \quad (2.1)$$

donde  $H_{\max}$  es la máxima altura esperada del tsunami cerca de la región de generación.

M es la magnitud del terremoto (Escala de Richter).

Esta ecuación puede aplicarse a terremotos cuyo mecanismo y ubicaciones favorecerían un máximo desplazamiento tectónico vertical debajo del mar.

Los autores dicen que esta ecuación es una generalización estadística bastante aproximada por lo que su u

H ES LA ALTURA DE LA OLA DEL TSUNAMI

R ES LA ELEVACION DEL RUNUP SOBRE EL TERRENO DE LA OLA DEL TSUNAMI

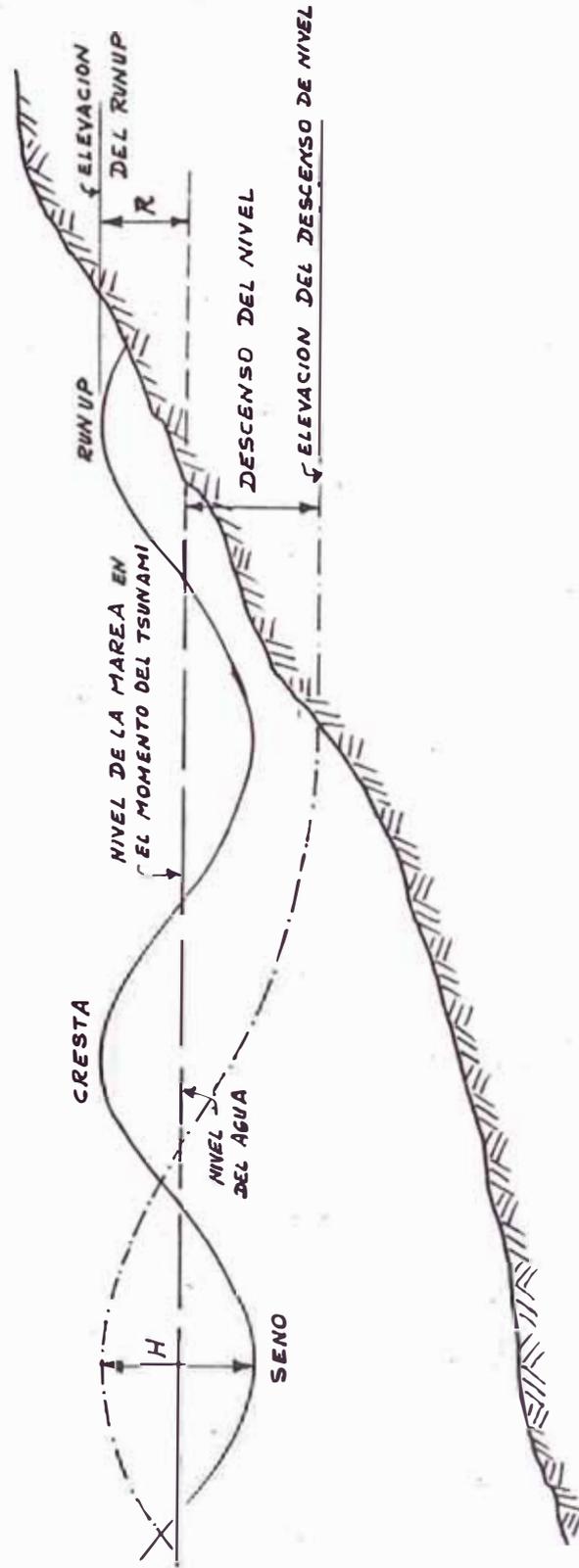


Fig. 2.5 Croquis mostrando definiciones de altura de ola de tsunami y runup de tsunami.

so tendrá que ser así mismo discreto y que habría que esperar mayor investigación al respecto.

La estimación del máximo run-up  $R_{max}$  no es una cuestión fácil por causa de los importantes efectos de la pendiente del fondo y los imponderables del conocimiento de la naturaleza precisa de las olas del tsunami, como podrían ser la composición de ondas de período muy grande con ondas de período más corto causadas por oscilaciones locales.

En los estudios realizados por Wilson y Torum, se ha llegado a ciertas conclusiones y observaciones :

- a) El máximo runup  $R_{max}$  puede ser tomado desde 1 a 1.5 de  $H_{max}$
- b)  $H_{max}$  no tiene relación con alturas de ola en agua profunda
- c) La figura obtenida no puede ser aplicable a olas de tsunami que han viajado una considerable distancia a través del océano.

Si se escoge  $R_{max} \approx 1.5h_{max}$ , se obtendrá el probable runup máximo como función de la magnitud del terremoto, es decir :

$$\log R_{max} = 0.75 M - 4.82 \quad (2.2)$$

Para  $M \approx 8,5$  (Tsunami de Alaska),  $R_{max} \approx 33m$ , lo cual es un resultado bastante razonable.

c. Factores que Influyen en las alturas runup. - Las alturas a las que alcanzarán las olas de un tsunami, son gobernadas por un proceso complejo que es controlado por la topografía submarina, la configuración de la ribera y la escabrosidad del fondo en agua superficial y de la superficie del terreno en el área inundada.

Las alturas a las que alcanzarían las olas del tsunami por si solas puede ser aumentada por las alturas de superposición de olas generadas por viento.

#### d. Influencia de la topografía

La topografía influye en todos los lugares por donde viajan las olas de un tsunami.

En el área de generación la topografía hace que el tsunami sea direccional tal como ocurrió con el tsunami de Alaska, en las que las olas fueron canalizadas hacia el Sur y Sur-Este por las formas del área junto al origen y las masas de tierra circundantes. Las máximas alturas de las olas en las Aleutianas y Japón, excepto en Ofunato, estaban por debajo de los 0.90 m., en cambio las estaciones chilenas generalmente tenían máximos mayores de 1.80 m.

En algunos casos la topografía submarina próxima a la orilla origina la refracción de las olas de tal manera que la energía de la ola converge, dando como resultado olas más altas que el promedio, mientras que en otras áreas la hidrografía es tal que la energía de la ola diverge de modo que las olas son más bajas que el promedio

Otro ejemplo en que se ha podido notar claramente la influencia de la topografía fue en Crescent City, durante el tsunami de Alaska, donde el runup del tsunami fue sorpresivamente alto.

Queda pues establecido que tanto en la inmediaciones del área de generación como a miles de kilómetros de ella, la topografía jugará un papel importante en la destrucción que causan los tsunamis.

e. Influencia de las mareas

Conceptos.- Las mareas son movimientos alternativos del nivel del mar, llamándose pleamar o marea alta a la máxima altura alcanzada y baja mar o marea baja al nivel mínimo que alcanza al mar, ambas en un lapso que podría ser un día cualquiera.

Las mareas se repiten cada 12 horas 25 minutos, aproximadamente o sea cada medio día lunar. Entre el momento en que el mar alcanza su máxima altura diaria y el momento en que está más bajo transcurren 6 horas, 12 minutos, coincidiendo el momento de máxima altura con el paso de la Luna por el meridiano del lugar. En el transcurso de cada mes hay dos días en que las diferencias de nivel entre las mareas bajas y las altas llegan a su máximo, correspondiéndose con las fases de Luna Nueva y Luna Llena, y otros dos días en que la diferencia de niveles es mínima, y corresponden a los cuartos lunares creciente y menguante. A los dos días de mareas máximas se les llama mareas vivas o de sicigia, y aquellos en que la diferencia de nivel es mínima se denominan mareas muertas.

Al movimiento que realizan las aguas hasta llegar a la pleamar se le llama flujo o marea entrante, y refluo o marea descendente al movimiento de las aguas en descenso hasta la baja mar.

A la diferencia de nivel que alcanza el mar de una baja-mar a una pleamar se le llama amplitud de la marea. Esta amplitud varía también con la diferencia de latitud siendo mayor en los puntos próximos al Ecuador que en los polos, y mayor también en los mares abiertos y océanos que en los mares internos como el Mediterráneo.

Los planos de la eclíptica del Sol y la Luna no coinciden con el del Ecuador, más que dos días al año,

en los meses de Marzo y Septiembre, que es cuando se producen las mareas más vivas, que alcanzan en algunos puntos diferencias de más de 15 m. entre la baja mar y la pleamar.

La amplitud de las mareas se registra con aparatos especiales llamados mareógrafos.

De la lectura de los conceptos mencionados anteriormente se deduce fácilmente como pueden intervenir las mareas en los efectos de un tsunami (alturas runup) Es decir que habrán momentos en que las mareas ayudarán elevarse a las olas del tsunami y habrán momentos en que las mareas disminuirán las alturas de olas de los tsunamis.

También, durante los tsunamis chileno de 1960 y de Alaska de 1964 quedó evidenciado las influencias que tuvieron en los daños causados por esos tsunamis.

En consecuencia, además de las otras causas de variación, la altura de la marea en el momento en que llegan las olas de un tsunami es de considerable importancia para determinar como puede ser la altura del runup sobre el terreno, relativo a un fondo fijo.

#### f. Influencia de la forma de la bahía en la gra- vedad de los daños.

Uno de los estudios realizados en el Japón con ocasión del tsunami chileno de 1960, ha aclarado grandemente la relación que existe entre los tsunamis y las formas del terreno costero.

Los investigadores que han realizado dichos estudios son : Takamasa Nakano, Masahiko Ohya y Yoshihiko Takanisa (8)

1. Método de Investigación.- Dichos investigadores básicamente siguieron la siguiente secuencia

- Obtención de fotografías aéreas.
- Acopio de datos oceanográficos, y registros de tsunamis, tanto anteriores, como del que se está estudiando.

Elección de las regiones para la Investigación de campo.

- Trabajo de campo y acopio de datos necesarios.

Las fotografías aéreas fueron usadas para la clasificación microgeomorfológica, observación macroscópica y microscópica de los desastres, por medio de ellas se pudo investigar :

- El movimiento del tsunami sobre el terreno.
- El área inundada.
- El área erosionada u depositada.
- Daños de las casas, puentes y otras construcciones.
- Microformas del terreno.

Los datos registrados que consiguieron fueron

- Máxima profundidad de inundación del agua.
- Tiempo alcanzado por el nivel máximo
- Tiempo de iniciación e inundación por cada ola de tsunami.
- Duración de estancamiento.
- Velocidad del tsunami y "status" de desastres.

Otros estudios previos han aclarado que la escala del tsunami no sólo está determinada por la escala del terremoto y erupción submarina y distancia del epicentro hasta la costa, sino también por la dirección, plano y tamaño de la bahía que inunda el tsunami; las propiedades físicas de un tsunami ocasionado por un terremoto submarino o erupción, son diferentes con respecto a las propiedades físicas de tsunamis transmitidos desde distancia lejana.

2. Formas del terreno costero.- Se ha reconocido que las costas de tipo rías (costas tipo estero angosto) a lo largo de las costas japonesas hacia el lado del Pacífico, han sido inundadas por tsunamis. Además de las costas tipo rías o las ensenadas, los bajíos que unen las islas con terreno firme, son también atacadas por tsunamis.

Las costas tipo rías o ensenada se clasifican en varios tipos, tales como :

- Forma de U
- Forma de V
- Forma de W, y
- Forma de media luna.

La ensenada en forma U tiene frecuentemente un patrón irregular. Algunos de ellos tienen patrón en forma de S y algunos otros están separados por obstáculos en varias partes.

La ensenada en forma de U fue originalmente derivada de un valle bastante grande. Aún hoy la forma del terreno submarino indican las formas del valle antiguo y su fondo es bastante profundo. Tales propiedades de forma de terreno son convenientes para la invasión del tsunami, por consiguiente allí ocurren los más severos desastres.

La ensenada en forma de V ha sido originada por valle bastante pequeño. Algunas veces, ensenadas en forma de dos Vs constituyen la forma W, y también allí ocurren desastres severos.

Los terrenos bajitos unidos a la isla con poca altura son fácilmente inundados por tsunamis dando como resultado desastres severos.

En general la ola de un tsunami se incrementa en altura en el interior de una bahía, debido a que la pro-

fundidad es más superficial y el ancho es más estrecho en el interior de la bahía comparado con el de la entrada. En bahías en forma de U o V, la altura del tsunami en el interior puede ser más del doble de la altura en la entrada.

Relación entre magnitud de terremoto causante de tsunami y profundidad focal.

Los científicos japoneses contando con estadísticas bastante completas y en períodos bastante adecuados, han realizado estudios de terremotos ocurridos en el Japón, así :

Iida (1958) investigó los terremotos submarinos acompañados por tsunamis; indicó que el terremoto más pequeño acompañado por tsunami fue de magnitud 5.8, y los terremotos submarinos poco profundos con una magnitud mayor de 7.3 fueron siempre acompañados por tsunamis, asimismo indicó que la magnitud de un terremoto que causa tsunami generalmente se encuentra que es mayor de

$$M = 6.42 + 0.017 H \quad 2.3$$

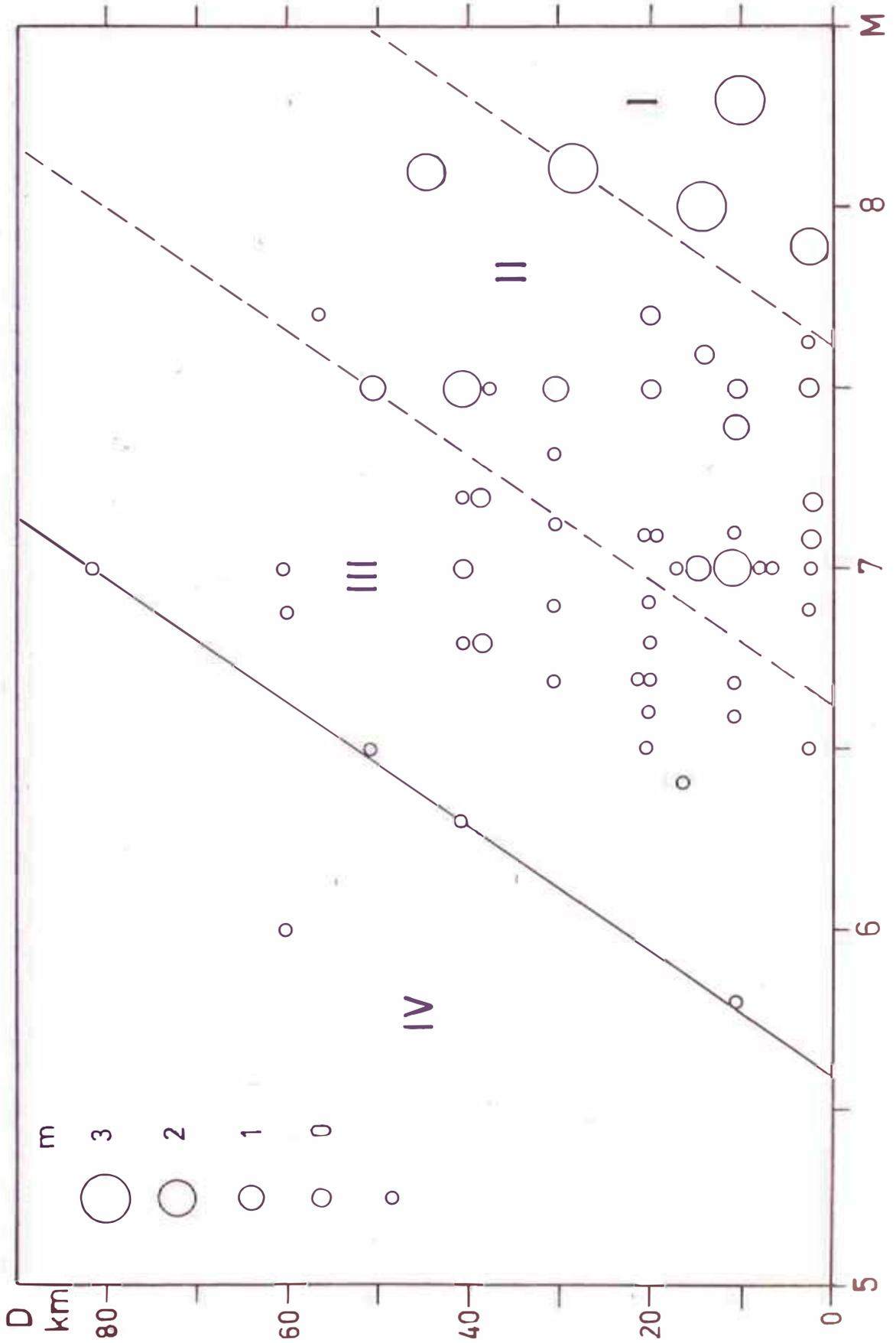
donde M es la magnitud del terremoto (Escala de Richter)  
H es la profundidad focal en Km.

La relación entre la magnitud M y la profundidad focal D de terremotos acompañados por tsunami durante el período de 1926 a 1968, se representa en la Fig. 2.7. La magnitud M (límite) de un terremoto, se expresa por una relación lineal a la profundidad D en Km. La ecuación se expresa según :

$$M = 5.6 + 0.0175 D \quad 2.4$$

La relación lineal se muestra por una línea sólida en la Fig. 27. Este hecho sugiere que la magnitud y la profundidad focal de un terremoto juega un rol importante en la aparición de deformaciones sísmicas de la corte

FIG 2.7 RELACION ENTRE LA MAGNITUD  $M$  DE UN TSUNAMI, PROFUNDIDAD FOCAL  $D$  EN KM, Y MAGNITUD  $M$  DE TERREMOTOS QUE FUERON ACOMPAÑADOS POR TSUNAMIS DESDE 1926 A 1968 CERCA A JAPON \*



\*(DE YONEKURA, 1972)

za sobre la superficie de la tierra (KASAHARA, 1957; Iida, 1958).

En la figura mencionada, los terremotos son divididos en cuatro espacios por la línea sólida y las dos líneas de puntos paralelas. Esos espacios son nombrados como I, II, III, y IV para distinguir la magnitud del terremoto. Se observa claramente que hay una gran probabilidad de producirse tsunamis para magnitudes mayores de 7.5 y profundidades focales menores de 30 Kms. Dichos terremotos están ubicados en la región I. Conforme avanzamos hacia la izquierda disminuyendo la magnitud y aumentando la profundidad, se hace más improbable que se presente un tsunami y si ocurriera, este sería de magnitud muy pequeña.

El período investigado es de 1926 a 1968.

### 2.32 Propagación de las olas

Las olas de un tsunami se desplazan alejándose en todas direcciones desde su área de generación, aplanándose rápidamente al alejarse de la zona epicéntrica, su velocidad de propagación en mar profundo se puede calcular por la fórmula de Airy :

$$v = \sqrt{gh} \quad (2.5)$$

donde :  $v$  es la velocidad de propagación

$h$  profundidad del agua

$g$  aceleración debida a la gravedad

Si la profundidad se da en brazas, la velocidad en nudos se calcula por la fórmula :

$$v = 8.23 \sqrt{h} \quad (2.5 a)$$

Se observa que la velocidad varía directamente con la profundidad del agua, sin embargo, en mar profundo la velocidad de propagación, permanece más o menos

constante; al llegar a aguas menos profundas esta velocidad disminuye, su longitud decrece y su altura aumenta considerablemente debido a la acumulación del agua.

El rango de variación de las velocidades promedio en mar profundo está entre 400 y 900 Km/hora.

Cuando el impulso de propagación es mayor en una dirección que en las otras y donde las características topográficas modifican tanto la forma de la onda como el régimen de propagación que tenían en mar profundo, se producen inflexiones en la propagación.

Ejemplos de velocidades promedio para algunos tsunamis particulares.- Las olas del tsunami de Lisboa de 1875, tenían velocidades promedio de 650 Km/hora.

Las olas del tsunami de 1896, originado en las costas de Japón, cruzaron el Océano Pacífico en unas 10.5 hrs. a una velocidad media de 830 Km/hora.

El tsunami del 1° de Abril de 1946, originado en las Aleutianas cruzó 4,250 Kms. del Océano hasta las Islas Hawai a una velocidad media de 870 Km/hora, este tsunami llegó a Hawai en unas 4.5 hrs. después de producido el terremoto.

En el terremoto de Alaska de 1964, el epicentro de este estaba sobre el terreno, y las distancias del recorrido de las olas, se computaron para el arco del círculo mayor desde el epicentro hasta la estación de marea. En casi todos los casos, la ruta del círculo mayor es más corta que la trayectoria real recorrida por la onda inicial; las rutas por el círculo mayor - desde este punto hasta la mayoría de las estaciones en la Costa Oeste de Norte y Sud America, interceptan los continentes.

1. Método de Investigación.- Dichos investigadores básicamente siguieron la siguiente secuencia

- Obtención de fotografías aéreas.

- Acopio de datos oceanográficos, y registros de tsunamis, tanto anteriores, como del que se está estudiando.

Elección de las regiones para la Investigación de campo.

- Trabajo de campo y acopio de datos necesarios.

Las fotografías aéreas fueron usadas para la clasificación microgeomorfológica, observación macroscópica y microscópica de los desastres, por medio de ellas se pudo investigar :

- El movimiento del tsunami sobre el terreno.

- El área inundada.

- El área erosionada u depositada.

- Daños de las casas, puentes y otras construcciones.

- Microformas del terreno.

Los datos registrados que consiguieron fueron

- Máxima profundidad de inundación del agua.

- Tiempo alcanzado por el nivel máximo

- Tiempo de iniciación e inundación por cada ola de tsunami.

- Duración de estancamiento.

- Velocidad del tsunami y "status" de desastres.

Otros estudios previos han aclarado que la escala del tsunami no sólo está determinada por la escala del terremoto y erupción submarina y distancia del epicentro hasta la costa, sino también por la dirección, plano y tamaño de la bahía que inunda el tsunami; las propiedades físicas de un tsunami ocasionado por un terremoto submarino o erupción, son diferentes con respecto a las propiedades físicas de tsunamis transmitidos desde distancia lejana.

2. Formas del terreno costero.- Se ha reconocido que las costas de tipo rías (costas tipo estero angosto) a lo largo de las costas japonesas hacia el lado del Pacífico, han sido inundadas por tsunamis. Además de las costas tipo rías o las ensenadas, los bajíos que unen las islas con terreno firme, son también atacadas por tsunamis.

Las costas tipo rías o ensenada se clasifican en varios tipos, tales como :

- Forma de U
- Forma de V
- Forma de W, y
- Forma de media luna.

La ensenada en forma U tiene frecuentemente un patrón irregular. Algunos de ellos tienen patrón en forma de S y algunos otros están separados por obstáculos en varias partes.

La ensenada en forma de U fue originalmente derivada de un valle bastante grande. Aún hoy la forma del terreno submarino indican las formas del valle antiguo y su fondo es bastante profundo. Tales propiedades de forma de terreno son convenientes para la invasión del tsunami, por consiguiente allí ocurren los más severos desastres.

La ensenada en forma de V ha sido originada por valle bastante pequeño. Algunas veces, ensenadas en forma de dos Vs constituyen la forma W, y también allí ocurren desastres severos.

Los terrenos bajitos unidos a la isla con poca altura son fácilmente inundados por tsunamis dando como resultado desastres severos.

En general la ola de un tsunami se incrementa en altura en el interior de una bahía, debido a que la pro-

fundidad es más superficial y el ancho es más estrecho en el interior de la bahía comparado con el de la entrada. En bahías en forma de U ó V, la altura del tsunami en el interior puede ser más del doble de la altura en la entrada.

Relación entre magnitud de terremoto causante de tsunami y profundidad focal.

Los científicos japoneses contando con estadísticas bastante completas y en períodos bastante adecuados, han realizado estudios de terremotos ocurridos en el Japón, así :

Iida (1958) investigó los terremotos submarinos acompañados por tsunamis; indicó que el terremoto más pequeño acompañado por tsunami fue de magnitud 5.8, y los terremotos submarinos poco profundos con una magnitud mayor de 7.3 fueron siempre acompañados por tsunamis, así mismo indicó que la magnitud de un terremoto que causa tsunami generalmente se encuentra que es mayor de

$$M = 6.42 + 0.017 H \quad 2.3$$

donde : M es la magnitud del terremoto (Escala de Richter)  
H es la profundidad focal en Km.

La relación entre la magnitud M y la profundidad focal D de terremotos acompañados por tsunami durante el período de 1926 a 1968, se representa en la Fig. 2.7. La magnitud M (límite) de un terremoto, se expresa por una relación lineal a la profundidad D en Km. La ecuación se expresa según :

$$M = 5.6 + 0.0175 D \quad 2.4$$

La relación lineal se muestra por una línea sólida en la Fig. 27. Este hecho sugiere que la magnitud y la profundidad focal de un terremoto juega un rol importante en la aparición de deformaciones sísmicas de la corte

za sobre la superficie de la tierra (KASAHARA, 1957; Iida, 1958).

En la figura mencionada, los terremotos son divididos en cuatro espacios por la línea sólida y las dos líneas de puntos paralelas. Esos espacios son nombrados como I, II, III, y IV para distinguir la magnitud del terremoto. Se observa claramente que hay una gran probabilidad de producirse tsunamis para magnitudes mayores de 7.5 y profundidades focales menores de 30 Kms. Dichos terremotos están ubicados en la región I. Conforme avanzamos hacia la izquierda disminuyendo la magnitud y aumentando la profundidad, se hace más improbable que se presente un tsunami y si ocurriera, este sería de magnitud muy pequeña.

El período investigado es de 1926 a 1968.

### 2.32 Propagación de las olas

Las olas de un tsunami se desplazan alejándose en todas direcciones desde su área de generación, aplanándose rápidamente al alejarse de la zona epicéntrica, su velocidad de propagación en mar profundo se puede calcular por la fórmula de Airy :

$$v = \sqrt{gh} \quad (2.5)$$

donde :  $v$  es la velocidad de propagación

$h$  profundidad del agua

$g$  aceleración debida a la gravedad

Si la profundidad se da en brazas, la velocidad en nudos se calcula por la fórmula :

$$v = 8.23 \sqrt{h} \quad (2.5 a)$$

Se observa que la velocidad varía directamente con la profundidad del agua, sin embargo, en mar profundo la velocidad de propagación, permanece más o menos

constante; al llegar a aguas menos profundas esta velocidad disminuye, su longitud decrece y su altura aumenta considerablemente debido a la acumulación del agua.

El rango de variación de las velocidades promedio en mar profundo está entre 400 y 900 Km/hora.

Cuando el impulso de propagación es mayor en una dirección que en las otras y donde las características topográficas modifican tanto la forma de la onda como el régimen de propagación que tenían en mar profundo, se producen inflexiones en la propagación.

Ejemplos de velocidades promedio para algunos tsunamis particulares.- Las olas del tsunami de Lisboa de 1875, tenían velocidades promedio de 650 Km/hora.

Las olas del tsunami de 1896, originado en las costas de Japón, cruzaron el Océano Pacífico en unas 10.5 hrs. a una velocidad media de 830 Km/hora.

El tsunami del 1° de Abril de 1946, originado en las Aleutianas cruzó 4,250 Kms. del Océano hasta las Islas Hawai a una velocidad media de 870 Km/hora, este tsunami llegó a Hawai en unas 4.5 hrs. después de producido el terremoto.

En el terremoto de Alaska de 1964, el epicentro de éste estaba sobre el terreno, y las distancias del recorrido de las olas, se computaron para el arco del círculo mayor desde el epicentro hasta la estación de marea. En casi todos los casos, la ruta del círculo mayor es más corta que la trayectoria real recorrida por la onda inicial; las rutas por el círculo mayor desde este punto hasta la mayoría de las estaciones en la Costa Oeste de Norte y Sud América, interceptan los continentes.

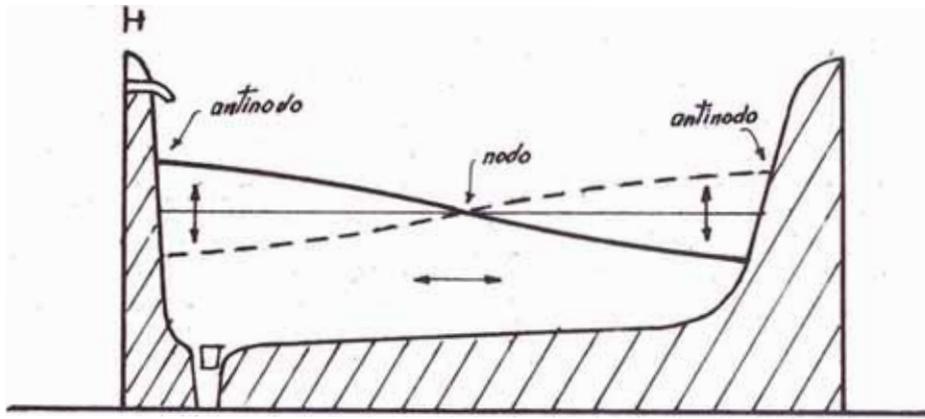
Para el caso de las mayores profundidades oceánicas, las rutas más largas pueden proporcionar llegada más temprana que la ruta del círculo mayor, aún cuando no haya intervención de la masa de tierra o grupo de islas. Desde que la velocidad de la ola varía durante el período de viaje y el tiempo de viaje a cada estación es el único factor que está totalmente bien determinado, la velocidad calculada es un promedio para la distancia desde el origen hasta las estaciones de marea. Esas velocidades calculadas son generalmente menores que la velocidad real, ya que las distancias de viaje verdaderas para la onda son mayores que las distancias calculadas.

Debido a que las longitudes de onda del tsunami (distancia entre crestas sucesivas) son mucho más largas que las profundidades oceánicas sobre las cuales viajan ellas, su velocidad es controlada por la profundidad del agua y se calcula por la fórmula de onda para agua profunda dada anteriormente.

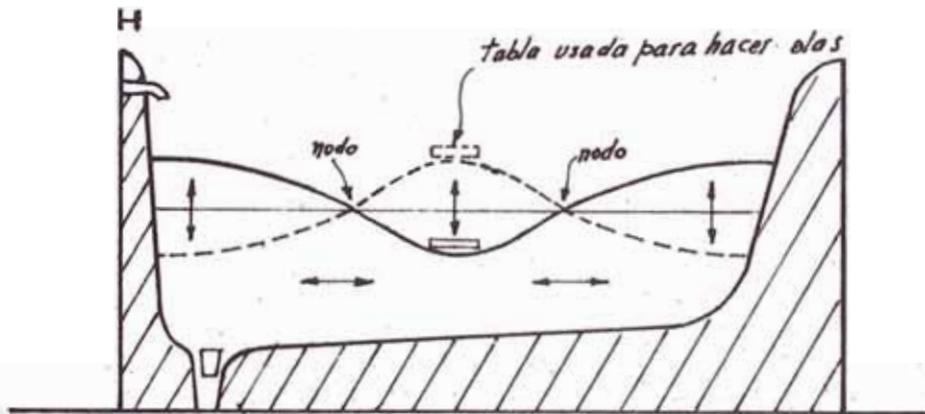
### 2.33 Seiches

Los seiches, constituyen el tercer tipo de ondas que ocurren cuando un gran terremoto origina un tsunami, por lo tanto, merecen considerarse aquí.

Los seiches pueden ser considerados como patrones de onda estacionaria, los que (en contraste con las ondas progresivas de mar abierto) están compuestos de nodos en los cuales la altura de la superficie de agua permanece inalterada, y los antinodos donde la superficie se mueve hacia arriba y abajo. Los nodos y antinodos mantienen una posición fija según que se muevan las partículas de agua, pero debajo de la superficie hay corrientes a medida que las desviacio-



*fundamental*



*primer armónico*

FIG. 2.8 SEICHING EN UNA TINA

nes del agua sufren el cambio de la forma de la onda.

Primeramente consideraremos un caso bastante simple en que se puede producir seiche. "Tomemos una cuba, la cual tiene forma rectangular y lados verticales casi sin fricción, cumpliendo por lo tanto con los requerimientos de la teoría. Llenando agua hasta la altura de unos 15 cm. y luego meciéndolo de modo que se forme una onda fundamental. El medio punto de la cuba será un nodo y la profundidad del agua permanecerá allí constante, 15 cm. mientras que en cada extremo variará de unos 10 a 20 cm. (Ver figura 2.8).

El período medido resulta cercano a los 2 seg.

Si se empuja una tabla en el centro de la superficie (a la manera de inflar) a razón de una vez por segundo, el agua se moverá como en la figura 2.8, en esta figura se observa dos nodos y tres antinodos. Esto es el primer armónico.

Los períodos medidos cumplen la fórmula para el período natural de un estanque cerrado.

$$T_n = \frac{2l}{(n + 1) \sqrt{gd}} \quad (2.6)$$

donde :

$l$  es la longitud del estanque

$\sqrt{gd}$  es la velocidad de una onda larga

$n$  es el "tipo" de movimiento (fundamental  $n = 0$ , primer armónico  $n=1$ , etc.)

El período fundamental de un estanque (cuba) es el que pertenece a una onda cuya longitud es dos veces la distancia entre los límites de reflexión.

Aplicando la fórmula a nuestra cuba, para  $l = 1.20$  m,  $d = 15$  cm,  $n = 0$ , obtenemos  $T = 2$  seg. y su primer armónico 1 seg.

Para un puerto que mide transversalmente una milla, ( $l = 5280$  pies) con una profundidad promedio de 50 pies, el período fundamental es 264 seg. y el primer armónico 132 seg.

Así :

$$T_n = \frac{2 \times 5280 \text{ pies}}{(0 + 1) \sqrt{32 \times 50}} = \frac{2 \times 5280}{40} = 264 \text{ seg}$$

En el caso de una bahía abierta hacia el océano - tal como se muestra en la figura 2.9. La superficie de reflexión ausente es reemplazada por una línea nodal. En este caso el modo fundamental de oscilación es aquel en el cual la abertura está en el primer nodo, y el primer armónico cuando el segundo nodo está en la abertura.

La fórmula a usar aquí para el período natural será :

$$T = \frac{4 l}{(n + 1) \sqrt{gd}} = \quad (2.7)$$

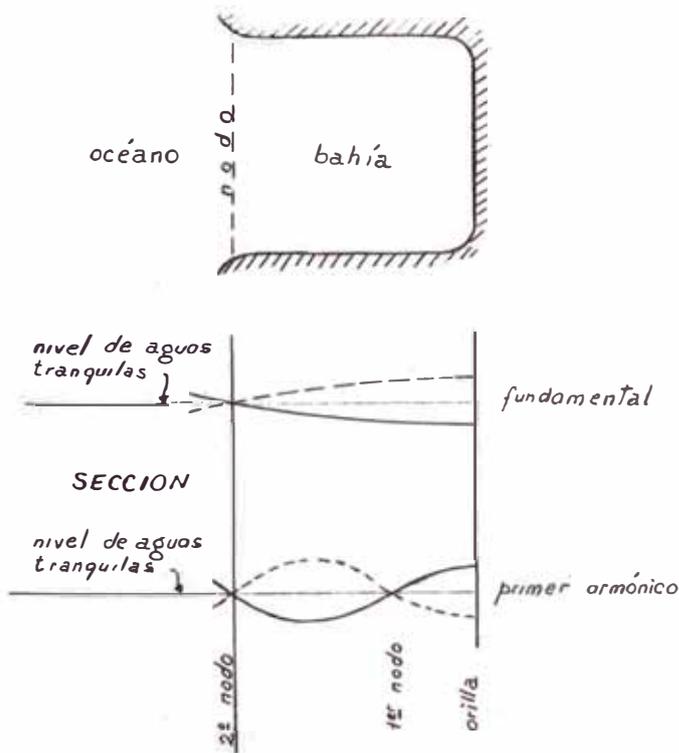


Fig. 2.9.- Seiching en una bahía "open-sided"

Nótese que un conjunto independiente de seiches se pueden reflejar atrás y adelante en el otro sentido, el sentido transversal a la bahía, en ese caso se usará la fórmula dada inicialmente.

Los seiches pueden ser causados :

En un lago u otro estanque completamente cerrado por un cambio en la presión atmosférica a su vez causado por una tempestad que pasa sobre un extremo.

En las habías que se abren dentro el océano por la llegada de un tren de onda de período largo. Un tsunami en el Pacífico por lo general logrará excitar todas las bahías y puertos ubicados en sus riberas.

El seiching del período natural del puerto es muy propenso a encubrir subsiguientes llegadas de onda lo que hace dificultoso obtener el período mismo del tsunami por el mareógrafo. Si por coincidencia el período del tsunami es un múltiplo exacto del período natural del puerto entonces el movimiento del seiching es amplificado por cada nueva ola que llega, y el movimiento del agua dentro del puerto puede tornarse más violento que el movimiento externo.

En algunos puertos los seiching causan el movimiento de barcos anclados, el movimiento horizontal del agua está en proporción al período, por lo tanto los seiches con un período de varios minutos pueden hacer causar a los barcos anclados grandes esfuerzos o a realizar giros extraordinarios.

## 2.34 Fuerzas de olas de tsunami

Para calcular la fuerza del agua sobre cualquier obstáculo, se necesita conocer la velocidad del agua en su dirección de flujo, así como el nivel del agua en función del tiempo. A lo mencionado hay que agregar que la naturaleza y la forma del obstáculo son de importancia básica.

Antes de proseguir es bueno aclarar que ninguna medida real de esas fuerzas se han hecho, y sólo pocas estimaciones de las fuerzas son acequibles. (12)

Las fórmulas que se indicarán enseguida, no serán analizadas aquí, su análisis implicaría conocimientos más profundos sobre el tema - lo que no se hace aquí -, los lectores que deseen profundizar pueden ver el papel de Wilson y Torum (9) o el libro de Wiegel *Earthquake Engineering* - (12).

Desde el punto de vista de magnitud de fuerzas que ejercen, podemos considerar dos tipos fundamentales de formas en que se presentan los tsunamis :

- a.- Tsunami con fuerte oleaje
- b.- Tsunami a modo de marea de rápido ascenso.

En el primer caso se pueden considerar 2 tipos de estructuras : Estructuras pequeñas, tales como pequeños edificios y estructuras grandes tales como rompeolas, muros de gran longitud, etc.

La fórmula usada para calcular fuerzas en estructuras pequeñas es la siguiente :

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho A u^2 \quad 2.8 )$$

donde : F es fuerza ejercida sobre el objeto (estructura)

$C_D$  Es un coeficiente adimensional de resistencia al avance, apropiado a la forma del cuerpo y al número de Reynolds del flujo del fluido.

$\rho$  Es la densidad de masa del agua.

$A$  Es el área proyectada del cuerpo.

El caso de cuerpos grandes, (hemos dicho que pueden ser los rompeolas continuos, malecones, una manzana de edificios, y otros objetos con grandes extensiones lineales en su frente) que pueden obstruir el flujo, se tomará en cuenta el efecto de las presiones hidrostática y dinámica. Esto conduce a la definición de fuerza "F" por unidad de longitud de muro, en la forma:

$$F = \frac{1}{2} \rho g d_w^2 + C_f \rho d_t u_s^2 \quad (2.9)$$

donde :

$d_w$  profundidad del agua formada en el muro.

$d_t$  profundidad del agua en la base del muro antes de la deflexión de la corriente.

$u_s$  Velocidad del oleaje a la altura  $d_s$ .

$\rho$  Densidad de masa del agua de mar.

$C_f$  Un coeficiente adimensional de fuerza.

$g$  Aceleración de la gravedad.

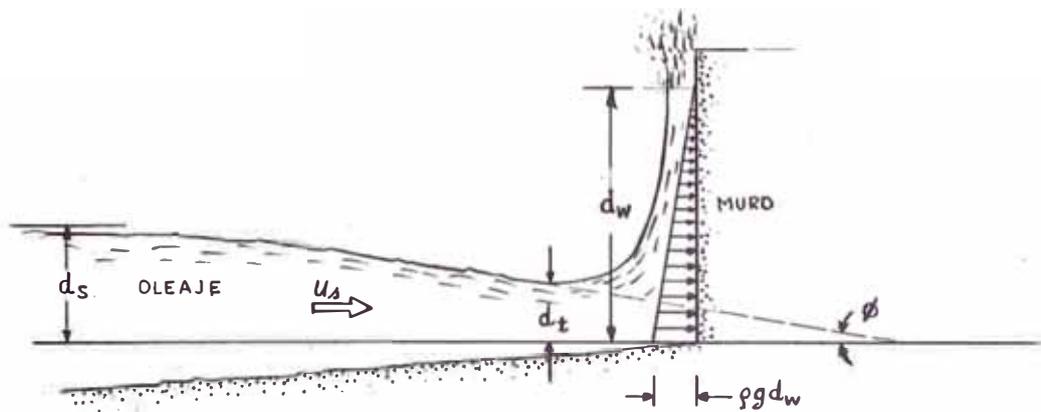


Fig. 2.10 Diagrama esquemático de efecto impulsivo, debido a un oleaje de tsunami sobre un muro vertical.

Estudios teóricos y comprobados por la experiencia, han demostrado que la velocidad frontal  $u_s$  está de acuerdo con :

$$u_s = K \sqrt{gd_s} \quad (2.10)$$

donde :

$d_s$  es la altura sobre el terreno del nivel de oleaje

$K$  es un coeficiente numérico con un valor esperado entre 1.5 y 2.0 (para diseños conservados se puede tomar  $K = 2.0$ )

Cross (1966, 1967) ha evaluado el coeficiente  $C_f$  (ec(2)) y ha encontrado que :

para  $\phi = 0$ ,  $C = 1$  ( $\alpha$ ) (Ver figura 2.10)

para  $\phi = 60^\circ$ ,  $C = 3$  ( $\beta$ )

La altura efectiva del runup  $d_w$  sobre el muro muestra una relación lineal aproximada a  $u_s^2/2g$ , es decir:

Para fondo seco  $d_w / (u_s^2/2g) = 2.0$

Para fondo húmedo  $d_w / (u_s^2/2g) = 1.33$

Para el caso de un oleaje bastante extendido, se puede tomar  $d_x \approx d_s$ ;  $C_f \approx 1$ ; y aplicando a la ecuación (2) las relaciones ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ) así mismo la ecuación (3) con  $K = 1.75$ . La ecuación (2) resulta en las siguientes formas simplificadas :

$$F \approx 5 \rho g d_s^2 \quad (\text{para fondo seco}) \quad (2.11)$$

$$F \approx 7.5 \rho g d_s^2 \quad (\text{para fondo húmedo}) \quad (2.12)$$

Los cuales son resultados bastante similares a los obtenidos por Wiegel en (1970).

## 2.40 La Prevención de los Tsunamis - El Sistema de Alarma contra Tsunamis

### 2.41 Breve Historia y Descripción del Sistema

La prevención de los Tsunamis, prácticamente se inicia con la creación del Sistema de Alarma contra Tsunamis, organismo creado poco tiempo después de la ocurrencia del tsunami Aleutiano del 1° de Abril de 1946, este Sistema fue creado y organizado por el U. S. Coast and Geodetic Survey, pues se comprobó que dicho tsunami pudo haber sido predicho.

La necesidad inicial del Sistema para operar con eficiencia era desarrollar un método que permita determinar rápidamente y con exactitud el tiempo entre la ocurrencia de un terremoto causante de tsunami y la llegada de las olas a las Islas Hawaianas.

A comienzos de 1947, el problema quedó resuelto con la preparación de una carta tiempo-viaje de una onda sísmica marina para Honolulu. Las líneas representan distancias desde Honolulu para cada media hora y cada hora del tiempo de viaje de la ola.

El tiempo de viaje hasta Honolulu se obtiene plotteando el epicentro de un terremoto sobre la Carta y marcando su posición con respecto a las líneas de tiempo. Conociendo el tiempo de la disturbancia, inmediatamente está disponible el tiempo de llegada de la primera ola marina a la estación mareográfica de Honolulu.

Las Cartas para las otras estaciones de marea del Sistema se completaron en 1950. Inicialmente era tedioso el cálculo de manuales de cartas de tiempos de viaje, actualmente se calculan las cartas con programas de computación electrónica.

Debido a que algunas estaciones de marea del SSWWS<sup>1</sup> tenían comunicaciones relativamente insuficientes, el Comdr. Green diseñó un detector de ondas sísmicas marinas que sería movido para tocar una alarma por el movimiento de una ola de tsunami. El primer detector fue instalado en Honolulu para prueba y corrección en el otoño de 1947.

Otros problemas que había que resolver era la adquisición de adecuados sismógrafos y equipo registrador visible; un sistema instrumental diseñado por el científico Fred Keller fue instalado en Tucson, Arizona entre 1947 y 1948. Durante el verano de 1950 esas instalaciones fueron modificadas por la adición de un amplificador "spilt beam" altamente estable, desarrollado por R. M. Wilson y L. R. Burgess del U. S. Coast and Geodetic Survey.

Con el fin de establecer un rápido sistema de comunicación altamente prioritario, se solicitó la colaboración de las Fuerzas Armadas y de la Administración - Aeronáutica Civil (ahora la Agencia de Aviación Federal) Después de dos reuniones relativas a la formación del - Sistema de Comunicación celebrados el 20 de Julio y 12 de Agosto de 1948, el plan tentativo propuesto, fue aprobado. Así comenzó la operación del Sistema de Alarma - contra ondas sísmicas marinas del U. S. Coast and Geodetic Survey, (Sistema de Alarma contra Tsunamis desde el 15 de Marzo de 1967).

Inicialmente el Sistema de Alarma, estaba conformado por 4 observatorios sismológicos y 9 estaciones mareográficas, sin embargo, el Sistema comenzó a expandirse casi inmediatamente y el 15 de Noviembre de 1949, cuando el U. S. Coast and Geodetic Survey emitió la primera edición del Plan de comunicación para el Sistema -

<sup>1</sup> SSWWS = Sistema de Alarma contra Tsunamis.

de Alarma contra Ondas Sísmicas Marinas, se adhirieron 3 observatorios sismológicos y 9 estaciones mareográficas. Posteriormente se han unido más estaciones sismológicas y mareográficas y otras se han retirado.

Cuando ocurrió el terremoto y tsunami de Alaska, participaron 15 estaciones sismológicas y 30 estaciones mareográficas (entre ellas estaba el Perú).

La gran destrucción causada por el tsunami chileno en Mayo de 1960 indujo a un gran número de países y territorios a asociarse al Sistema de Alarma a fin de protegerse de futuros tsunamis.

La primera prueba del SSWWS fue con relación al terremoto de las Islas Tonga el 8 de Setiembre de 1948. Se obtuvieron informes sismográficos y se ubicó el epicentro del terremoto. De la Carta de Tiempo de Viajes se predijo un tiempo de viaje de 6 horas y 35 minutos para la ola desde el epicentro hasta Honolulu.

El primer tsunami más grande del Pacífico después de la formación del Sistema de Alarma ocurrió el 4 de Noviembre de 1952 con relación al terremoto de Kamchatka. Las alarmas anticipadas que se proporcionaron al público en la trayectoria de este tsunami dieron como resultado una reducción de daños y ninguna muerte. El tsunami Aleutiano del 9 de Marzo de 1957, el segundo tsunami más grande del Pacífico después de la formación del SSWWS, causó daños por 3 millones en las Islas Hawaianas, pero otra vez de nuevo, debido a la alarma oportuna, no hubo pérdidas de vida.

El tsunami chileno de Mayo de 1960 señaló una debilidad en el Sistema de Alarma, no obstante que las alarmas contra el tsunami se difundieron a los residentes de las Islas Hawaianas muy anticipadamente a la

llegada de la ola, 61 personas fueron muertas en Hilo, -  
Hawai, debido a que ellas hicieron caso omiso a las ad-  
vertencias.

El tsunami chileno de 1960 incitó un razonable in-  
cremento en investigación básica sobre tsunamis, así mis-  
mo indujo a varios países solicitar advertencias de tsu-  
nami del Observatorio de Honolulu. Esas solicitudes exi-  
gieron la adición de estaciones sísmicas y de marea para  
asegurar los fondos de reserva necesarios para proporció-  
nar alarmas oportunamente.

2.42 Modo de Operar. - En síntesis el Sistema funciona de  
la siguiente manera :

Un sismógrafo registra las ondas sísmicas de dife-  
rente tipo, por las diferencias de tiempo en la llegada  
de los varios tipos de ondas se determina la distancia  
al epicentro. Esta observación registrada por tres o  
más estaciones sísmológicas, localiza geográficamente un  
epicentro y determina la intensidad del sismo. Previo  
un análisis en la Oficina Central de Honolulu, se estima  
la posibilidad de que se genere un tsunami, si es positi-  
va la estimación la Oficina Central de Honolulu emite un  
boletín de alerta y espera información de las estaciones  
mareográficas próximas al epicentro, estaciones donde es  
posible tener el primer indicio o registro de que se ha  
generado un tsunami.

Con esta información, la Oficina de Honolulu emi-  
te boletines sucesivos indicando las posibles horas de  
llegada del tsunami a diferentes puntos de la costa del  
Pacífico e islas. El máximo de datos que se obtiene de  
las estaciones mareográficas del Pacífico conectadas a  
este sistema y comunicados a Honolulu, permite constante-  
mente determinar la formación, evolución y el comporta -

miento del tsunami,

No es posible aún determinar las características y amplitud o tamaño de las ondas con que será afectada una zona costera en particular, pero a pesar de esto, la información de alerta ayudará siempre minimizar los daños materiales y salvar muchas vidas.

Todas las estaciones del Sistema reciben constantemente los boletines informativos y envían mensaje conteniendo la información relativa a las manifestaciones del fenómeno en su localidad.

#### 2.43 Determinación del Tiempo de Llegada de una Onda de Tsunami

La determinación del tiempo de llegada de una onda es un paso importante en el Sistema de Alarma. La fórmula general de la velocidad de propagación de las ondas largas, es :  $v = \sqrt{gd}$ , donde "v" es la velocidad, "g" la aceleración de la gravedad, y "d" la profundidad del agua.

Derivada de esta fórmula, el Coast and Geodetic Survey, ha usado la de tiempo :

$$t = \frac{14.58}{\sqrt{d}} \quad (\text{Fórmula de B. Zerve})$$

Con esta fórmula se ha computado y trazado la "Carta de Progreso Horario de Tsunamis"

La experiencia ha demostrado que el error promedio en el tiempo computado y el tiempo real de llegada de la onda a un lugar cualquiera, es del orden de: 2.3%, error que resulta plenamente tolerable.

Con esos criterios se han trazado las "Cartas de Progreso Horario" para Honolulu y otras localidades del Pacífico.

## C A P I T U L O   T E R C E R O

### GENERALIDADES DE LA CIUDAD DEL CALLAO

3.10.- Aspectos Históricos.- Nuestro tradicional puerto comercial, llamado antiguamente Pitipiti (en los tiempos remotos de los Incas), luego Magdalena o Puerto de Lima ó Puerto de Santa María del Callao, está catalogado como más antiguo que la propia capital de Lima. Según los historiadores, cuando Pizarro no había fundado la Ciudad de los Reyes, ya en Callao se firmaba el 1º de Enero de 1535 la escritura de venta de la Armada de Pedro de Alvarado, Gobernador de Guatemala, al Marqués don Francisco Pizarro.

Los españoles lo utilizaron como portón hacia el mar para embarcar los ricos productos del valle del Rímac y los valiosos tesoros extraídos del Cuzco y otros lugares. A partir de ese entonces el Callao fue blanco de piratas y corsarios, ansiosos de saquear sus tesoros.

Al fundarse la república, el Puerto del Callao siguió en un plano de importancia. Las obras realmente portuarias culminaron el año 1869 en que la firma inglesa Templemen Bergman construyó el Muelle Dársena. Como puerto moderno, el Callao sólo comienza a mostrarse después de 1930, con la construcción de un Terminal Marítimo, que fue ejecutado por la firma Frederick Snare Corporation. Los espigones, almacenes y edificios administrativos eran amplios y espaciosos en esa época, lo cual dió origen a críticas calificando la obra de "de rroche", más que de "provecho", que el tiempo se encargaría de disvirtuar.

3.20.- Ubicación - Límites - Extensión - Población

Distritos.-

La Provincia Constitucional del Callao se encuentra situada en la Costa Central del Perú, teniendo por límites :

- El Río Chillón por el Norte
- El Océano Pacífico por el Sur
- Las cumbres de los cerros Marques, la Regla, las Haciendas Maranga, Aramburú, y Conde Torres por el Este
- El Océano Pacífico por el Oeste.

Dentro su área se encuentra la ciudad y Puerto del Callao, a orillas de la bahía de su nombre y al Sur de la desembocadura del Río Rímac, teniendo por coordenadas geográficas :

Latitud : 12° 03' 20" Sur  
Longitud: 77° 09' 35" Oeste

El área de la Provincia Constitucional del Callao, conforme a la demarcación que le dió la Ley 12538 del 12 de Enero de 1956 es la siguiente :

Área Continental, 57 Km<sup>2</sup>

Área de las Islas: San Lorenzo, Frontón, Islotes

Hormigas de Fuera, Palomino y Peña Horadada, 17 Km<sup>2</sup>

Total = 74 Km<sup>2</sup>

La población del Callao según el Censo de 197 es de con una densidad promedio de

Los distritos que la forman son : Callao, Bellavista, Carmen de la Legua - Reynoso, La Perla, La Punta y Ventanilla.

### 3.30.- Medio Físico - Clima.-

Topografía.- El terreno sobre el cual se encuentra la ciudad tiene una topografía plana, con una pendiente muy suave que va en ascenso desde la playa hacia tierra, teniendo las siguientes cotas en los siguientes lugares :

1.00 m.s.n.m. en La Punta

2.00 m.s.n.m. en el Callao

10.00 m.s.n.m. en Bellavista.

Napa freática.- La napa freática se encuentra bastante alta en casi toda el área, y en algunos lugares se nota la humedad sobre la superficie. Los siguientes valores son aproximados:

0.8- m-1.00 m profundidad en La Punta

2.00 m profundidad en el Callao

4.00 - 5.00 m profundidad en Bellavista

Costas.- En las riberas del Callao, podemos distinguir dos tipos de costas marinas, la primera que se encuentra hacia el lado norte de la Punta (desde la Escuela Naval) donde el mar es tranquilo y es el tramo donde se encuentran principalmente el Terminal Marítimo de Callao Muelle Pesquero, Base Naval del Perú; la segunda que se extiende hacia el Sur donde el mar se caracteriza por su braveza, esta parte es adyacente al lado sur del distrito de La Punta y La Perla.

La bahía del Callao está abrigada de los vientos, bravezas del mar y en parte de los tsunamis, por la Isla San Lorenzo, que es la más grande e importante de las 30 islas del Litoral Peruano. La misma se encuentra separada de La Punta por 4 kilómetros de mar poco profundo, cubierto a trechos por grandes peñascos que forman un canal llamado Boquerón. Cerca se halla la célebre isla "El Fontón" donde funciona actualmente

la Colonia Penal del mismo nombre.

El litoral del Callao, y en general el litoral peruano no presenta los pronunciados accidentes costeros que caracterizan a Europa, América del Norte, Sur de Chile.

El zócalo continental en el Perú Central es bastante ancho, probablemente esto se deba al hundimiento de gran parte de la primitiva Costa Central. El zócalo remata bruscamente en las fosas marinas, que son profundas grietas longitudinales que se extienden frente al Perú, una de ellas, la central, está comprendida entre Ica y Chimbote. Estas fosas, verdaderas fallas, serían las causas de los numerosos movimientos sísmicos que se registran en el Perú.

Las mareas en el Callao son moderadas.

Clima.- Por encontrarse ubicado entre los trópicos, al Callao le correspondería un clima tropical, sin embargo, la presencia e influencia de la "Corriente Peruana" frente a nuestras costas, hace que el clima sea suave y uniforme con temperaturas medias mensuales que varían desde los 15 grados centígrados en invierno, hasta los 22 grados centígrados en verano.

Las precipitaciones en la zona son muy escasas en la época de invierno la neblina es muy común lo que trae como consecuencia una humedad relativa media bastante alta. En los últimos diez años, la humedad relativa media mensual, varió del 81% a 90% en los meses de invierno y de 80% a 86% en los meses de verano

El mar del Callao como riqueza.- El área marina del Callao comprende desde la desembocadura del Río Chillón por el Norte, hasta la entrada de San Miguel por el Sur, es un vivero de peces y aves guaneras debido

a la especialísima climatología de nuestra costa cargada de sales nutritivas que mantienen grandes porciones vegetales submarinas que sirven de pasto para los peces y aves marinas, que al dejar su excremento acumulan la riqueza guanera.

En resumen, el mar del Callao y toda la costa central peruana alberga una de las faunas más ricas del Pacífico, que ha hecho del Perú una de las potencias pesqueras mundiales y de su mar uno de los más ricos del mundo.

Composición del Suelo.- Estudios realizados en esta área han concluido que los estratos que forman el sub suelo del Callao, se hunden al occidente y deben esta inclinación a la que tuvo el fondo del océano durante los diversos períodos de crecimiento del cono de deyección del río Rimac.

El examen de la superficie submarina ha enseñado que en el fondo de la bahía y del boquerón está constituido por arcilla, con la excepción de la prolongación de La Punta y del Camotal además de una faja relativamente angosta a lo largo de la Costa, donde se encuentra cascajo.

La arcilla penetra en forma de lengua en el Boquerón. Desde aquí la línea de limitación entre el cascajo y la arcilla sigue más o menos una curva de 7 metros de profundidad, pero al noroeste del Dársena se va acercando a la costa y aquí la faja de cascajo tiene su ancho menor.

Los sondajes de muestra han enseñado que la arcilla es relativamente blanda en la superficie, pudiendo llamársele fango. Penetrando con los tubos a

mayor profundidad, la consistencia del material va aumentando de manera que a 2 ó 3 mts. de profundidad ya es bastante resistente. La arcilla está por lo general mezclada con un poco de conchuela, algo más en el Boquerón que en la bahía.

El cascajo es de dimensiones muy variables, aún en un mismo lugar encontrándose piedras hasta de 10 cm. y otras de pocos milímetros mezclada generalmente con conchuela molida.

La arena es muy fina, no utilizable en construcción de color negro y mezclada con conchuela.

Los perfiles a los que se refiere en el párrafo anterior, demuestran que la arcilla descansa sobre un lecho de cascajo, y que este hecho presenta una inclinación suave y continua hacia mayores profundidades.

En un sondaje hecho a 390 mts. de la costa, indica un espesor de 15 mts. de arcilla encima del cascajo, y el sondaje hecho a 290 mts. de la costa un espesor de sólo 1 mts. encima del mismo material.

A la zona acuífera subterránea del Callao como parte integrante del cono aluvial del Rímac, le corresponde la parte inferior de su cuenca deposicional que por su misma posición ha favorecido la naturaleza del tipo de material predominante de granulometría fina.

Es frecuente encontrar en el Callao grandes espesores de arcilla que afortunadamente en su mayoría tienen carácter geométrico lenticular.

Los principales materiales que constituyen esta zona del cono aluvial del Rímac son : grava, arena, arcilla, limo. Conforme el examen de los registros de perforación predomina la mezcla de estos materiales,

aunque esporádicamente se encuentran pequeñas concentraciones individuales de arena y grava. La arcilla es la que mayor concentración presenta en cuerpos unitarios.

Se deja establecido que todo el cono aluvional del Rímac en toda su estructura deposicional que conforma el subsuelo del área de Lima y Callao constituye un sólo gran reservorio acuífero cuya dimensión en profundidad se inicia desde el nivel estático.

### 3.40 Aspectos Geológicos y batimétricos de la Costa Peruana.-

En épocas geológicas, la Costa Peruana ha sufrido variaciones en su batimetría, pues los reconocimientos geológicos han permitido llegar a la conclusión que la Costa al Norte de Lambayeque se ha levantado, entre Lambayeque e Ica se ha hundido, y al Sur de Ica han habido levantamientos y hundimientos complicados. Así mismo se ha comprobado que la isóbata actual de -4000 nunca se elevó sobre la superficie del mar, en cambio los niveles entre esta isóbata y la playa han formado o pueden haber formado parte integrante del continente en diferentes épocas geológicas. Además la línea de -4000 corre en muy grandes rasgos paralela al contorno del continente en las latitudes correspondientes al Perú y en gran parte las de Chile

El fondo submarino alcanza una profundidad de 4000 m. a la distancia del litoral en los siguientes lugares, en cifras redondas :

a la altura de Cabo Blanco	90 Km. ó 50 millas
a la altura de Punta Pariñas	70 Km. ó 38 millas
a la altura de Punta Aguja	55 Km. ó 30 millas

a la altura de Pimentel	170 Km. ó 93 millas
a la altura de Salaverry	210 Km. ó 115 millas
a la altura de El Callao	170 Km. ó 93 millas
a la altura de San Gallán	90 Km. ó 50 millas
a la altura de Chala	150 Km. ó 83 millas
a la altura de Punta Coles	150 Km. ó 83 millas

### La Fosa de Lima

La fosa de Lima, conocida antes como Profundidad Milne-Edwards, fue originada posiblemente a principios de la época terciaria superior. Esta Fosa empieza a engrabarse al N de la lomada de Nasca, en  $14.7^{\circ}$ ; se extiende como surco ininterrumpido hasta  $05.8^{\circ}$ . Al N de esta latitud se encuentran dos hoyos menos hondos que la fosa misma, alcanzando, sin embargo, aun profundidades de 5000 m. Un poco al N de Cabo Blanco (Tumbes) y en isóbata de 4000 m termina esta gran depresión encorvándose hacia el W.

Las mayores profundidades sondeadas se hallan a la altura de las islas Guañape (-6308 m), a la altura de la Bahía Independencia con -6219 m, y a la altura de Ancón (-6160 m).

Midiendo perpendicularmente a la Costa se tiene una diferencia de nivel entre el fondo del mar en la Fosa de Lima y las alturas de Tielio de más de 11 Km. sobre una distancia de casi 300 Km. o sea un declive de un 4% más o menos.

Un desnivel parecido existe entre la Fosa de Atacama, N de Chile, y la Cordillera de los Andes algo al S de Antofagasta.

Estas depresiones parecen constituir cierto

desequilibrio y tensión en la corteza terrestre y son considerados como causas de movimientos sísmicos que azotan la costa peruana y chilena (Eardley, 1954, citado por Schweigger). También se cree posible que grandes masas de fango al desprenderse del talud continental y al deslizarse a la profundidad de la Fosa originan dichos movimientos sísmicos.

El declive desde la profundidad de 200 m. hasta el fondo de la Fosa de Lima es un 14% por término medio.

### La Plataforma Continental

La plataforma continental (shelf) podría definirse como la parte invisible de la tierra firme cuya superficie fue arrasada, después de haberse hundido, por la constante acción de las olas y así transformada en una planicie. La plataforma continental baja con un declive muy suave hasta cierta profundidad en que termina bruscamente y desciende hacia niveles inferiores con una pendiente más pronunciada.

Esta última parte del fondo del mar con el declive más fuerte es considerada como parte integrante del continente hasta la profundidad de 1000 m. y es llamada el talud continental.

Debajo de los -1000 m. se extiende la zona abisal que comprende todo el fondo del mar hasta las mayores profundidades de los océanos. Ambos elementos: La plataforma continental y el talud continental forman en conjunto el zócalo continental.

Como límite exterior del shelf se indica normalmente la isóbata de 200 m. ó la de 100 brazas, no obs

ESCALA VERTICAL 1:200,000  
 HORIZONTAL 1:2'000,000

PENDIENTE PROMEDIO  $\lambda = 4\%$   
 (RISA-TICLIO)

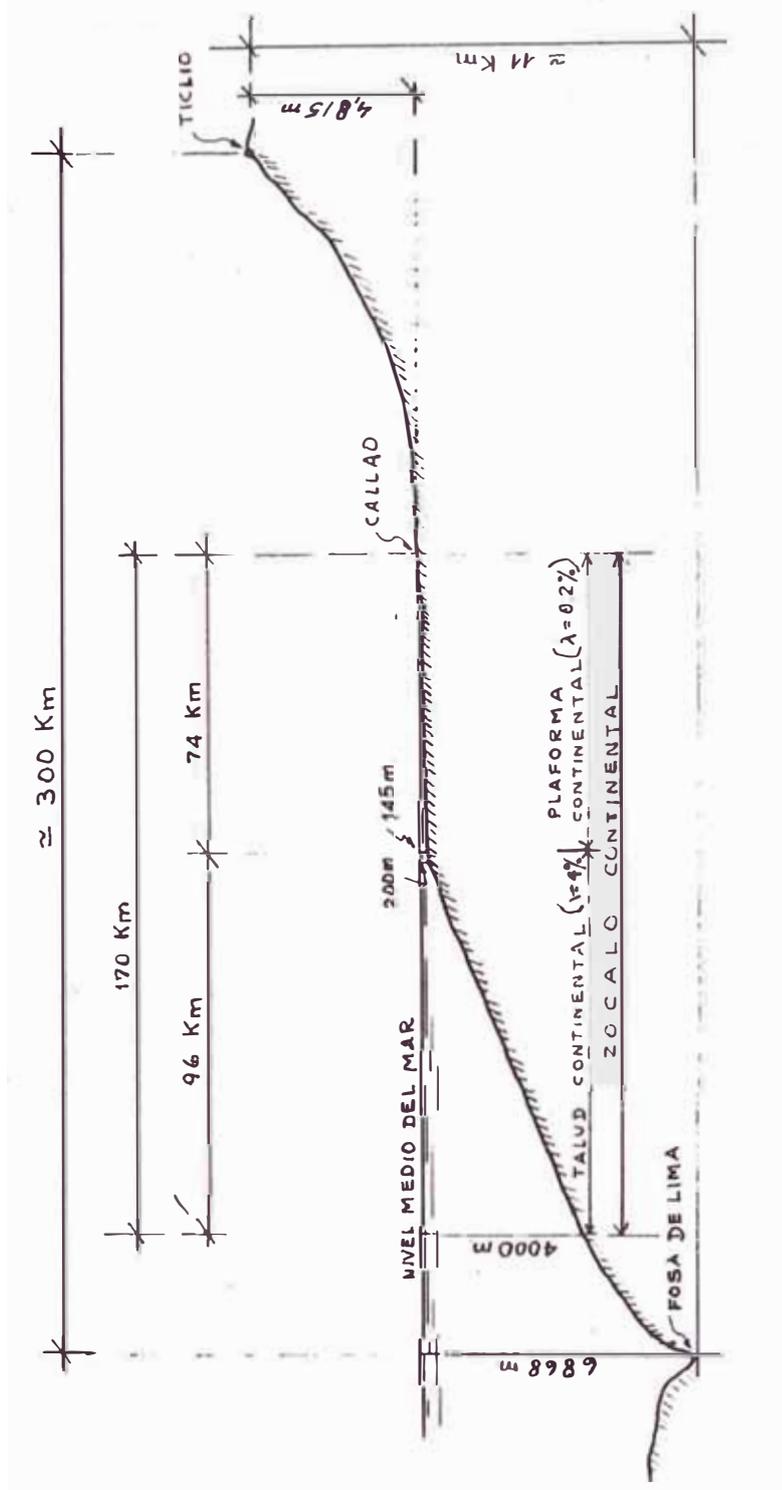


FIG 3.1 - BATIMETRIA Y TOPOGRAFIA EN PERFIL DE LA COSTA PERUANA FRENTE A LIMA (CALLAO)

tante que 200 m. corresponderían a 110 brazas, mientras que 100 brazas igualarían más o menos 185 m. Compilaciones referentes a todos los océanos enseñaron que el límite exterior de la plataforma continental se coloca, por término medio, en profundidades de 60-80 brazas, o sea 110-160 m. (Sverdrup et., 1942, - citado por Schwigger) Sondajes realizados entre el Callao y Talara a lo largo de la línea de 100 brazas más o menos indicaron que en aguas peruanas el declive del fondo marino aumenta muy notablemente a partir de 80 brazas (145 m).

El shelf se ensancha relativamente en la zona comprendida entre Ica y Lambayeque, pues su descenso al talud continental se realiza a distancias de la costa mucho mayores que al N de Piura. Su ancho a la altura de Pimentel es de 55 millas y alcanza una extensión sobre 70 millas al W de la Bahía de Chimbote. Más para el S disminuye la extensión de la plataforma continental y tiene frente al Callao todavía un ancho de 40 millas, pero al W de San Gallán (Ica) cubre nada más que 5 millas.

Más al S de Gallán la isóbata de 80 brazas se arrima más a la línea de costa reduciéndose así la extensión del shelf a 13 millas como máximo y a 5 millas como promedio

### 3.50 EL TERMINAL MARITIMO DEL CALLAO.- Breve Historia

Las instalaciones más antiguas del Terminal Marítimo del Callao están constituidas por el Muelle Dársena, construido entre los años 1870 y 1875.

Este muelle, de sólidas rocas funcionó entre 1887 y 1929 a cargo de la Compañía Francesa Societé Generale de París. Por esos años, las facilidades portuarias del Callao eran bastante restringidas, las naves permanecían ancladas a cierta distancia de la costa y el traslado de carga y pasajeros se realizaba en lanchones o embarcaciones a motor.

A partir de 1929, el gobierno asumió la administración directa, creando el Terminal propiamente dicho, siendo inaugurado el 24 de Octubre de 1934. Comprendía la construcción de dos nuevos muelles, de uno de los cuales sobresalen cuatro espigones (hoy, los muelles N°1, N°2, N°3 y N°4) de 183 mts. de largo c/u.

La construcción de este Terminal facilitó enormemente el movimiento marítimo y le confirió al Callao distinción entre los demás puertos de esta parte del Pacífico.

Con esas instalaciones, el Terminal Marítimo podía recibir en forma simultánea 15 barcos de 180 a 200 mts. de largo, y de 30 a 35 pies de calado.

El cuarto espigón era utilizado para la descarga de petróleo y derivados y se conectaba mediante tuberías con los tanques de las compañías petroleras ubicadas en las proximidades. Sin embargo esto constituía un grave peligro para el puerto y la ciudad del Callao; en el año 1955, un diario local abogaba por el traslado de las instalaciones a un lugar distante en don de no ofrezca las perspectivas de una catástrofe de incalculables proyecciones.

El 26 de Mayo de 1952 fue creada la Autoridad Portuaria del Callao, a mérito de las recomendaciones de la Misión Económica y Financiera Americana de Klein y Sacks, que se embarcó en un programa de tres puntos: un proyecto general de manipuleo de carga, la reorganización del Puerto y la provisión de instalaciones para la descarga de granos a granel. Se compró como medida preventiva, más de un millón de dólares en tractores, elevadores y parihuelas.

Los planes de este organismo se realizaron en tres etapas: primero, entre agosto de 1953 hasta marzo de 1954. se ejecutaron la cimentación y loza de sustentación de los silos por la firma Raymond Construction Corporation de Nueva York; segundo, de manera casi simultánea con la fase anterior, otra licitación favoreció a la firma Maschinenfabrick Hartman Aktiengesellschaft de Offenbachaa. M Alemania, para la provisión de dos torres neumáticas para la descarga de granos, las mismas que llegaron al Callao en junio de 1954, quedando listas para funcionar al final de ese año; tercero, comprendió la construcción -sobre la loza de sustentación ya hecha- de una torre de control y de 16 silos de almacenamiento para granos, además de la provisión de los sistemas accesorios de transportadores para movilizar el grano desde la descarga de las torres hasta los silos; el contrato respectivo fue consedido a la firma Cillóniz, Urquiaga S.A. peruana, que para esa finalidad se unió a la empresa Argentina Kinbaum Ferrobeton S.A. estas últimas obras, iniciadas en Setiembre de 1954, concluyeron a fines de 1955.

En Julio de 1962, se puso en servicio un nuevo muelle de 167 metros de largo por 45.70 metros de ancho (hoy es el muelle N°9).

En 1968 se empezó a construir el muelle de minerales (hoy, muelle N°5), que después de una interrupción, se terminó

de construir este año, es el muelle más grande y más costoso con que cuenta nuestro Primer Puerto.

Actualmente, el Terminal Marítimo del Callao está bajo la dirección de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU-PERU) que es un organismo creado por Decreto Ley N° 17526 del 21 de Marzo de 1969.

Este Terminal, actualmente, cuenta con grandes comodidades que puede ofrecer un puerto moderno, sin embargo y de acuerdo con los planes de expansión presentados por ENAPU, hay una gran actividad de construcción de nuevas instalaciones, tales como: muelles, almacenes, edificios para oficinas, redes eléctricas, etc. Asimismo, se tienen planos trazados en el presente año, donde se indican las nuevas áreas a expropiar las que están ubicadas hacia el lado de la ciudad del Callao.

También cabe señalar que en el presente año un diario local publicó en uno de sus títulos que la Empresa Nacional de Puertos iba a invertir 137 millones de soles para mejorar las instalaciones portuarias, y que comprendían la construcción de dos nuevos amarraderos adicionales al Muelle N° 5 con una longitud de 600 mts. cada uno, la remodelación y repavimentación de la zona de almacenaje N°1, colocación de un cerco con muros de concreto y malla de alambre, veredas, oficinas y servicios higiénicos, habilitación de la zona de ex-servicios terminales y portuarios que abarca la demolición de los antiguos muros para construir otros nuevos, instalación de un nuevo sistema de tubería de agua contra incendios, etc.

3.31 Area Tributaria Portuaria.-la ubicación geográfica de estar en un punto intermedio entre los puertos peruanos, de ser el Terminal del Ferrocarril Central del Perú, de estar en la mitad de la Carretera Panamericana que corre de frontera a frontera, de ser el centro de la industria manufacturera y de

las actividades comerciales y financieras del País y de estar en el área de Lima Metropolitana, hacen del Callao y por consiguiente el Terminal Marítimo el Primer Puerto Peruano con una gran área de influencia.

El Terminal Marítimo del Callao cumple con dar servicios portuarios a la zona de influencia de la Gran Lima y a toda la región de la Sierra Central del País. El área de la Gran Lima, como centro comercial y financiero incluye la mayor parte de la industria manufacturera, los bancos y compañías de seguros, los exportadores y establecimientos importantes mayoristas y minoristas, las oficinas principales de las compañías mineras mas importantes, y la mayoría de los servicios relacionados con las transacciones y negocios de nuestros productos. La región de la Sierra Central Peruana esta unida a la Capital Peruana por medio de las vías férreas y caminos y carreteras, de esta región vienen frutas, café, petróleo, gran cantidad de minerales como plomo, zinc, plata, carbón, vanadio, oro, tungsteno, etc.

## C A P I T U L O I V

### ESTIMACION DE PROBABLES DAÑOS Y PERDIDAS ECONOMICAS DEBIDO A SISMO Y TSUNAMIS EN EL CALLAO

#### 4.10.- EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS

##### 4.11 Breve Introducci3n.- Area Preliminar de Traba-

jo.- Con la idea bastante general de suponer un tsunami en el Callao, el paso siguiente era delimitar o señalar una área de trabajo factible de ser afectada por dicho fenómeno.

Indudablemente que señalar esta área no fue fácil, lo más lógico era recurrir a la Historia y emplear ideas más o menos lógicas. Se conocía a grandes rasgos el desastre ocurrido en el Callao durante el terremoto y tsunami del año 1746, las evidencias halladas mostraron que en esa oportunidad un barco, - Fragata San Fermín - fue varado en un lugar cercano a lo que es hoy el Mercado, otra versión dice que un barco fue varado aproximadamente 1.5 Km. tierra adentro.

Por otra parte, también se contaba con informaciones bastante generales de los tsunamis más grandes ocurrido recientemente en el Océano Pacífico, es decir, el tsunami chileno de 1960 y el tsunami de Alaska de 1964.

Basados en esos conocimientos, se empezó a trabajar en un área comprendida entre el mar y la cota 10. Esta área incluye numerosas manzanas de viviendas y el Terminal Marítimo del Callao, es decir, dos áreas bien diferenciadas en varios aspectos, sobre todo por los tipos de estructuras que existen en ellas, esto dió origen a planear la evaluación de dichas estructuras por dos métodos diferentes.

#### 4.12.- Evaluación de las estructuras en el Area Portuaria.-

a) Método de Trabajo .- Dos hechos fundamentales determinaron el método de trabajo a seguir en la toma de datos en el Terminal Marítimo del Callao.

1. Visita previa por todo el Terminal con el fin de observar las Estructuras a encuestar.
2. Facilidades brindadas en sus oficinas ya sea proporcionando planos u otros elementos archivados.

En consideración de dichos puntos se planeó en cuestar todas las estructuras del Terminal, y aún conseguir datos adicionales, tales como valores económicos de Equipos y Maquinarias, necesarios para estimar posibles pérdidas.

b) Límites de la zona de trabajo.- El Puerto del Callao abarca el área ocupada por el Terminal Marítimo, la Base Naval y el Terminal Pesquero. Este trabajo se limita al Terminal Marítimo, cuyos linderos son :

Por el N : El Terminal Pesquero

Por el S : El Muelle de Guerra

Por el E : Calles: Huancavelica, Grau y Contral -  
mte. Raygada

Por el O : El mar.

c) Fichas de encuesta y Trabajo de Campo.- El paso siguiente consistió en elaborar las fichas de trabajo. Esta elaboración se hizo en consulta con el representante de ENAPU ante el Comité de Defensa Civil, para lo cual se tomó en cuenta principalmente:

1. Objetivos planeados.

2. Facilidad de Encuesta

3. Cantidad de estructuras a encuestar.

Las características particulares de las estructuras condujeron a elaborar tipos de fichas, así tenemos las siguientes solicitudes de datos :

1. Para edificios y almacenes: Nombre del Edificio o Almacén-Ubicación - Antigüedad - Dimensiones (área del primer piso, y altura o número de pisos) - Materiales (cimentación, pisos, columnas, muros, techo) - Varios - Estado General - Evaluación Económica al 31 - 3 - 73 - Observaciones.

2. Para Muelles: Número de Muelle - Ubicación Antigüedad - Dimensiones (área y espesor de plataforma) - Tipo de cimentación - Materiales (cimentación, plataforma, defensas) - Varios - Estado General - Evaluación Económica al 31/3/73 - Observaciones.

3. Para Zonas y Anexos, y Calles: - Nombre - Ubicación - Material - Dimensiones (área y espesor) - Estado General - Evaluación económica al 31/3/73 - Observaciones.

Para las otras estructuras o instalaciones .- no se confeccionaron fichas, pues su número es muy limitado y en otros casos solo interesa su valor económico.

El trabajo de campo consistió en anotar en las fichas de encuesta los datos solicitados ya sea :

1. Observación directa de la estructura.

2. Por entrevistas personales.

3. De planos e informes archivados.

d) Resultados.- La información conseguida en el campo se ha ordenado en la siguiente manera :

1. Ordenamiento de datos :

I.- Estructuras inmuebles que comprende : 1) E edificios, 2) Muelles y Rompeolas, 3) Almacenes, 4) Zonas y Anexos, 5) Pistas y Veredas, 6) Terrenos, 7) Señales, Faros y Boyas, 8) Instalación de agua, 9) Instalación E-léctrica, 10) Balanzas, 11) Silos, 12) Tanque para aceite comestible, 12) Vías Férreas, 14) Obras Complementa - rias.

II.- Equipo Marítimo

III.- Equipo de Manipuleo

IV.- Otros Equipos

V.- Maquinarias y enseres de factoría

VI.- Equipos de Transporte

VII.- Muebles, Enseres y Equipos de Oficina

2. Informe.- I.- Estructuras Inmuebles

1) Edificios.- El número total de edificios\* que existen en el Terminal Marítimo del Callao y que fueron encuestados, suman 78; de los cuales sólo se consideran 73 ya que los 5 restantes no se han considerado por estar en proceso de demolición o estar incluidos dentro de otros.

El material de construcción predominante es el concreto armado, el mismo que se emplea tanto en la cimentación, columnas y techos en más del 95%, en los muros se usan los ladrillos king-kong y bloques de concreto en el mismo porcentaje; los edificios más importantes están cimentados sobre pilotes y el más antiguo es el Edificio de la Aduana, fue construido en 1931, actualmente se siguen construyendo según los planes de expansión planeados por ENAPU-PERU, tal es el caso del Edificio Es

\* Se ha considerado en este título edificaciones bastante pequeñas tales como oficinas, subestaciones eléctricas. etc.

tación de Pasajeros que fue inaugurado en el presente año.

Desde el punto de vista del estado en que se encuentran, se ha encontrado que cerca del 90% tienen el calificativo BUENO, cerca del 10% el calificativo de REGULAR, de 2 a 3% el calificativo de MALO.

En cuanto al número de pisos, 66 de ellos tienen uno sólo; 7, dos pisos; 2, tres pisos; 1, cuatro pisos y 1, seis pisos.

Todos los edificios mencionados están valuados hasta el 31 de marzo del presente año, en S/92'401,000

2) Muelles y Rompeolas.- El Terminal Marítimo del Callao cuenta actualmente con 10 MUELLES y 2 ROMPEOLAS más el entremuelle 1 - 2 - 3 - 4.

El Muelle N° 10 es el más antiguo, pues fue construido en el año 1886; el Muelle N° 9 tiene una parte antigua, construida en 1886 y una parte relativamente nueva, construida en 1961; los Muelles N° 1, N° 2, - N° 3, N° 4, N° 11, y los entremuelles 1 - 2 - 3 - 4 fueron construidos en 1928; el Muelle N° 5 se empezó a construir en 1968 y actualmente está terminado, por último el Muelle N° 6, también fue construido en 1928.

La cimentación es como sigue : Los Muelles N° 1, N° 2, N° 3, N° 4, N° 5, parte del N° 9, parte del N° 11, y los entremuelles 1- 2- 3- 4, tienen pilotes de concreto armado; el N° 6 tiene pilotes de fierro; el Muelle N° 7 pilotes de fierro y concreto armado; la parte antigua de los Muelles N° 9 y N° 10, rocas.

Las plataformas son de concreto armado, excepto en el N° 6, que tiene plataforma de madera y los Muelles N° 10 y parte del N° 9 que tienen plataforma de rocas.



3) Almacenes. - Se han encuestado en el Terminal, 10 almacenes, cuatro de ellos datan del año 1934, uno del año 1950, uno del año 1956, tres de 1962 y uno de 1972.

Ocho de ellos están apoyados sobre pilotes y los dos restantes tienen por cimentación vigas corridas apoyadas sobre relleno hidráulico. Cinco de ellos tienen columnas de concreto armado y los otros cinco columnas de fierro.

El material de los muros es más variable, cuatro almacenes tienen muros de concreto hasta 2 m. de altura siendo la parte superior de calamina, dos almacenes tienen muros de ladrillo, tres tienen muros de concreto armado y finalmente el último tiene muros de losas de concreto armado prefabricadas.

En cuanto a coberturas, nueve almacenes tienen cobertura de estructura metálica (tijerales) sobre los que se apoya el eternit o la calamina, el restante tiene tijerales de madera, sobre los que se apoya el eternit.

Se ha dado los siguientes calificativos, en cuanto a los estados : a cuatro almacenes, bueno; a cinco, buenos (pero antiguos) y a uno el calificativo de Regular.

Los almacenes que tienen mayor capacidad de almacenaje son el N° 2 y el N° 3, ambos con 11,034 m<sup>2</sup> de área; el almacén N° 5 tiene un área de 7,317 m<sup>2</sup>, y los otros están entre 3,000 y 4,000 m<sup>2</sup> de área.

Sus alturas fluctúan entre 9 y 13 m.

Los 10 almacenes en conjunto están avaluados hasta el 31 de marzo de 1973 en S/.88°164,560.00

4) Zonas y Anexos.- Las zonas y anexos son espacios pavimentados al aire libre, que sirven para almacenar carga, por lo general se encuentran adyacentes a los almacenes. Existen 10 zonas y ocho anexos que hacen un área de  $130,000 \text{ m}^2$ . Todos los pavimentos son de concreto, con espesores por lo general de 9 pulg. los más nuevos, y 6 pulg. los más antiguos. La calificación ha sido como sigue : doce como bueno, seis regular. Están avaluados en S/.34 millones.

5) Pistas (calles) y veredas.- Las calles están distribuidas en número de treinta, suman un área de  $140,000 \text{ m}^2$  En su mayoría tienen pavimento de concreto, los espesores son de 9 pulg. A veinticinco se les ha dado el calificativo de bueno, y a los cinco restantes regular, Las veredas suman diecinueve, con una área de  $10 \text{ mil m}^2$ , se encuentran en buen estado. Las pistas y veredas están avaluadas en conjunto en S/.110 millones.

6) Terrenos.- Sin considerar el área de muelles que suman  $165,000 \text{ m}^2$ . el área neta de terrenos a considerar es de  $440,000 \text{ m}^2$ , lo que están avaluados en S/.440 millones.

7) Señales Faros y Boyas.- Existen dos faros, cada uno de ellos está compuesto por una linterna y una boya. Las linternas son nuevas, han sido instaladas en 1972. Ambos faros están avaluados en S/1'200,000.00

8) Instalación de Agua y Desague.- Se compone de 5 pozos 3 reservorios, red de distribución para agua potable y sistema contra incendio, equipos motorizados del Sistema de Agua contra Incendio, medidores e hidrantes y Sistema de Desague. Todo está avaluado en S/.25 millones.

9) Instalación Eléctrica.- Compuesta por postes y redes

de alumbrado, cables eléctricos y telefónicos, equipo de computadora, etc., avaluada al año 1971 en S/.16'671,587.00

10) Balanzas. - Existen catorce (cajas más balanza) de las cuales dos están incluidas en el Muelle N° 5. El valor de las doce restantes es de S/.5'800,000.00

11) Silos. - Ubicados a la altura de la Puerta N° 2, fueron construidos en 1955, la cimentación es por medio de pilotes pre-fabricados en número de 869, los mismos que fueron hincados en terreno de relleno hidráulico. La losa de cimentación tiene un espesor de 1.07 m. Area del primer piso es de 1,290 m<sup>2</sup>, número de celdas es 16, altura de silos 38 m., altura de las torres de control 72 m. tienen una capacidad de 20,000 Tn. de cereal. Están avaluados en S/.54 millones, 6 mil soles.

12) Tanque para aceite comestible. - Están ubicados a la altura del amarradero 11-B, su cimentación es de concreto armado, paredes de fierro, capacidad de 4,500 m<sup>3</sup>, avaluados en S/.1'200,000.00

13) Vías Férreas. - Compuesta por rieles de acero de 60 lbs/yarda con sus respectivos cambios : 20,600 mts a S/.1,800.00 c/ml. avaluados en S/.39'949,496.

14) Obras Complementarias. - Los constituyen un arco - parabólico ubicado en la Puerta Central, rotonda para asta de bandera, cercos y muros, y puertas. El conjunto está avaluado en S/.16'194,000.00

II.- Equipo Marítimo . - Está formado por remolcadores Lanchas, lanchones y botes, Grúas flotantes, Draga Ofi

cial de Mar Landa, Eco Sonda; todo está avaluado en S/.117'612,000.00

III.- Equipo de Manipuleo.- Está formado por tractores, grúas y pescantes, elevadores, vagonetas, acarreadoras, parihuelas, torres neumáticas, locomotoras, carros, balanzas, y carretas y carretillas. Avaluado en S/.99'765,000.00

IV.- Otros Equipos.- Están considerados aquí los equipos contra incendio y seguridad, equipos de limpieza, equipo surtidor de agua, equipo de buzo, equipo médico y de laboratorio y otros. Avaluados en S/.5'352,000.

V.- Maquinarias y enseres de factoría - Avaluadas en S/.5'049,000.00

VI.- Equipos de Transporte.- Los constituyen los camiones y camionetas, jeeps, omnibus, motocicletas y bicicletas. Están avaluados en S/.4'866,400.00

VII.- Muebles, enseres y equipo de oficina.- Están avaluados en S/.14'998,000.00

Cuadro N° 4.1

Resultados de la evaluación por tipos en el Terminal Marítimo.

1.- Edificios:	Tipo	Cant.	%
	A	0	0
	B	7	10
	C	25	34
	D	41	56
	Total	73	100

2.- Muelles:

Tipo	Cant.	%
A	0	0
B	4	36
C	5	46
D	2	18
Total	11	100

3.- Almacenes :

Tipo	Cant.	%
A	0	0
B	2	20
C	4	40
D	4	40

Tabla N° 4.1.- que muestra el valor económico de las Estructuras e Instalaciones Inmuebles hasta el 31-3-73

1. Edificios. . . . .	S/.	92'401,000.00
2. Muelles y Rompeolas. . . . .		1,434'382,127.00
3. Almacenes. . . . .		88'164,559.00
4. Zonas y Anexos. . . . .		33'663,225.00
5. Pistas y veredas. . . . .		109'442,579.00
6. Terrenos. . . . .		440'052,020.00
7. Señales, Faros y Boyas . . . . .		1'200,000.00
8. Instalación de Agua y Desague . . . . .		24'887,000.00
9. Instalación Eléctrica . . . . .		16'671,587.00+
10. Balanzas. . . . .		5'880,000.00
11. Silos: . . . . .		54'005,897.00
12. Tanque para aceite comestible. . . . .		1'200,000.00
13. Vías y Cambios (Vías férreas). . . . .		39'949,496.00
14. Obras Complementarias y mejoras. . . . .		16'194,350.00
Total		2,358'094,680.00

+Dato correspondiente al año 1971

Tabla N° 4.2.- que muestra el valor económico de las Estructuras, instalaciones, Equipos del Terminal Marítimo del Callao.

I.- Estructuras e Instalaciones inmuebles.S/.	2,358'094,680.00
II.- Equipo Marítimo .....	117'612,046.00
III.- Equipo de Manipuleo .....	99'764,980.00
IV.- Otros Equipos .....	5'352,309.00
V.- Maquinarias y Enseres de Factoría ....	5'048,621.00
VI.- Equipos de Transporte .....	4'866,390.00
VII.- Muebles, Enseres y Equipos de Oficina.	14'998,071.00
<hr/>	
Total S/.	2,605'737.097.00

Datos necesarios y no conseguidos.- Para una evaluación más completa de daños por Tsumanis se necesitan conocer las siguientes informaciones (no conseguidas) :

- a.- Valor económico promedio (o alguna estadística) de las mercaderías almacenadas en el Terminal Marítimo del Callao.
- b.- Cantidad de embarcaciones en sus diferentes tamaños emplazados ó que podrían estar emplazadas en la rada exterior e interior del Puerto.
- c.- Detalles en cuanto al número de personas y su distribución que trabajan en el Terminal Marítimo.

#### 4.13.- Evaluación en el área de viviendas.-

a) Método de trabajo.- Antes de iniciar el trabajo de campo, previamente, el Grupo de Infraestructura de Edificaciones del Comité Nacional de Defensa Civil (esta tesis se coordinó en parte con dicho organismo) preparó unas fichas de encuesta, por otra parte el Ing. Julio Kuroiwa, había preparado una tabla don

de se clasificaban las estructuras en cuatro tipos: A, B, C y D, de acuerdo a los daños que podrían sufrir las mismas antes la hipótesis planteada. (sismo de intensidad VIII MM).

Con los elementos de trabajo conseguidos se consultó a la Oficina Nacional de Estadística y Censos (ONEC) para que recomiende un método de valor, esta oficina recomendó que nuestra área (preliminar) podría dividirse en zonas o áreas más pequeñas y que se podían llegar a buenos resultados encuestando como mínimo el 10% de manzanas de cada zona y el 5% de las viviendas de cada manzana, es decir, se iba aplicar el METODO DE MUESTREO.

b) Area definitiva de trabajo y diseño de muestra.- Las consideraciones aconsejadas por la ONEC, dieron como resultado la división del área de estudio en 12 zonas, cada una de las cuales tenía 26 manzanas en promedio. Escogiendo 4 manzanas de cada zona y 4 viviendas de cada manzana, equivalían al 15% en la elección de manzanas y 6% en la elección de viviendas.

El área preliminar de trabajo quedó corregida, resultando un área definitiva, limitada de la siguiente manera:

Por el N: Terminal Marítimo del Callao y línea de FFCC.  
" " S: El mar.  
" " E: Av. República de Panamá, Av. Saenz Peña y Arica.  
" " O: Terminal Marítimo del Callao y el mar.

El área así limitada, cubre hasta la curva topográfica N° 8. El trabajo así proyectado implicaba encuestar 192 viviendas, distribuidas en 48 manzanas, lo que a su vez suponía un trabajo bastante recargado que fue solucionado con el concurso de los estudiantes del curso de Ingeniería Antisísmica de la UNI, quienes realizaban la encuesta y un breve informe de la misma, como equivalencia al primer trabajo escalonado de dicho curso.

c) Trabajo de campo.- Primeramente se asignó una zona a cada alumno, entregándosele asimismo las fichas de encuesta mencionadas anteriormente y sus respectivas cartas de presentación conseguidas de parte del Consejo Provincial del Callao.

La elección de manzanas y viviendas fue a criterio de cada alumno previo recorrido de la zona asignada, y con la sugerencia de que sea la más representativa, pues en una previa inspección del área comprobé que con un solo mapa la elección podría resultar en error, porque se podía dar el caso que al elegir una manzana al azar, esta podría ser un colegio, un terreno desocupado, etc. lo mismo ocurría con las viviendas.

Por otra parte, durante esta etapa, consideré necesario realizar una encuesta rápida a nivel de manzana en cuanto a materiales de construcción, alturas, número de "callejones" ó quintas antiguas; la idea era tener una idea más general del área.

d) Comentario sobre la ficha de encuesta.- Las fichas de encuestas fueron ideadas en oficina, sin experiencia de algún trabajo anterior, esto condujo a que durante el trabajo de campo se notara alguna complejidad en la toma de algunos datos, esta experiencia ha permitido distinguir varios tipos de datos de acuerdo al modo de conseguirlos o encuestarlos, esta clasificación podría ser la siguiente:

- 1.- Datos obtenibles no por encuestas (geológicos, topográficos, etc.)
- 2.- Datos obtenibles por encuestas, estos a su vez podrían subdividirse en dos:
  - Datos generales de la zona (ej. encuestas a nivel de manzana)
  - Datos más específicos (ej. encuestas a nivel de vivienda).

e) Evaluación de los resultados.- Consiste en el tratamiento en gabinete de los datos obtenidos en el campo, es decir, la depuración, ordenación y presentación de acuerdo a nuestros objetivos trazados. Estos resultados se presentan primero a nivel de vivienda, luego a nivel de manzana y finalmente se hace algunas comparaciones posibles.

1.- Evaluación a nivel de vivienda.- Con el paquete de datos ya a la mano, se elaboró cuadros resúmenes a fin de tratarlos con mayor facilidad. La observación de estos cuadros permite distinguir grados de importancia de esos datos de acuerdo a puntos de vista, particularmente aquí caber recalcar que nos hemos supuesto la ocurrencia del tsunami, entonces para simplicidad podemos intentar una clasificación en datos principales y datos secundarios.

Se considera como datos principales a los materiales, el estado en que se encuentran; ambos datos se reflejan en la calificación por tipos, el N° de personas, (se tomará datos censales proporcionados por la ONEC que son más exactos), y las alturas (dato de la encuesta a nivel de manzana).

Los datos secundarios serían los restantes, (sistema de agua, inst. eléctrica, etc.) que podrían ser importantes desde otros puntos de vista.

A continuación se muestra el modelo de cuadro resumen mencionado anteriormente donde observamos los datos tomados, no deberemos olvidar que esas fichas fueron elaboradas pensando en la hipótesis de un sismo.

Fig. 4.1 Modelo de cuadro resumen para cada zona

Zona N° \_\_\_\_\_ Encuestador \_\_\_\_\_

Viv. N°	Direcc.	Area T.	N° pis.	Alt.	N° pers.	Materiales
						Muros Col,
1						
2						
.						
.						
.						
16						

Materiales	S. Agua	Des.	Ins. ele.	Est.	Tipo
Vigas Cuber. Pis. Rev.					
1					
2					
.					
.					
.					
16					

Los parámetros que se han considerado para realizar la calificación por tipos son:

- Materiales de construcción
- Antigüedad de la edificación
- Estado en que se encuentra
- Hipótesis de trabajo
- Deficiencias en la construcción (algunos casos)
- Experiencias pasadas.

Así mismo se aclara que no hay independencia entre algunos de esos parámetros, así por ejemplo el estado en que se encuentra la edificación podría ser consecuencia de su antigüedad.

Además, existen dos parámetros que indudablemente ejercerán influencia en los posibles daños, y son:

- Tipo de suelo
- Geología de la región

Durante el desarrollo de la tesis se ha considerado incrementar en un 10% los daños que se obtendrían para los casos de suelo bueno (Lima), pues, el suelo del Callao es blando, con napa freática alta, y en los últimos sismos importantes, esta área fue afectada en mayor grado con respecto a otras áreas cercanas.

Los resultados son los siguientes:

Cuadro N° 4.2 Cantidad y porcentajes de viviendas por tipos para cada zona del área, en la muestra.

Zona	Tipo	Cant.	%	Zona	Tipo	Cant.	%
1	A	4	25	2	A	4	25
	B	4	25		B	4	25
	C	6	37.5		C	7	43.75
	D	2	12.5		D	1	6.25
3	A	4	25	4	A	8	50
	B	6	37.5		B	4	25
	C	5	31.25		C	4	25
	D	1	6.25		D	0	0
5	A	9	56.25	6	A	8	50
	B	6	37.50		B	6	37.5
	C	1	6.25		C	2	12.5
	D	0	0		D	0	0
7	A	12	75	8	A	8	50
	B	3	18.75		B	6	37.5
	C	1	6.25		C	2	12.5
	D	0	0		D	0	0
9	A	8	50	10	A	10	62.5
	B	5	31.25		B	4	25
	C	3	18.75		C	2	12.5
	D	0	0		D	0	0
11	A	2	12.5	12	A	0	0
	B	5	31.25		B	5	31.25
	C	8	50		C	10	62.5
	D	1	6.25		D	1	6.25

Cuadro N° 4.4 Cantidad y porcentajes de viviendas por materiales para cada zona del área, en la muestra

Zona	Qui. y Ad.		Madera		Ladrillo		Con. Arm.		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
1	8	50	0	0	6	38	2	12	16	100
2	6	38	1	6	8	50	1	6	16	100
3	6	38	2	12	7	44	1	6	16	100
4	7	44	1	6	8	50	0	0	16	100
5	9	56	2	12	5	31	0	0	16	100
6	7	44	2	13	7	44	0	0	16	100
7										
8	14	88	0	0	2	12	0	0	16	100
9	10	63	0	0	6	38	0	0	16	100
10	10	63	1	6	5	31	0	0	16	100
11	2	13	0	0	13	81	1	6	16	100
12	0	0	0	0	15	94	1	6	16	100

Del cuadro anterior, obtenemos:

Cuadro N° 4.5 Resultados de la encuesta por MATERIALES para las 12 zonas en conjunto

Material	N° de viv. enc.	%
Adobe y quincha	89	47
Madera	12	6
Ladrillo	85	44
Conc. Armado	6	3

Cuadro N° 4.3 Resultados de la encuesta por TIPOS para las 12 zonas en conjunto.

Tipo	N° de viv. enc.	%
A	77	40
B	58	30
C	51	27
D	6	3

Cuadro N° 4.6 Rangos de porcentajes de viviendas en las diferentes zonas del área de estudio para cada tipo.

% de vív.	T I P O S			
	A	B	C	D
0-20	11, 12	7	5,6,7,8 9,10	1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12
21-40	1,2,3	1,2,3,4,5,6, ,8,9,10,11,12	1,3,4	
41-60	4,5,6,8,9		2,11	
61-80	7,10		12	
81-100				

Breve explicación.- Escogiendo la fila 21-40 y la columna C, leeremos: "Entre el 21 y 40% de las viviendas de las zonas 1, 3, 4, tendrían daños del tipo C.

Cuadro N° 4.7 Cantidad de manzanas, viviendas y habitantes para cada zona en que fue dividida el área en estudio.

(Datos proporcionados por la ONEC)

N° de zona	Cantidad de Manzanas	Cantidad de Viviendas	N° de Habitantes.
1	22	610	3,229
2	20	585	3,056
3	24	596	2,786
4	39	1,896	10,070
5	23	2,883	13,729
6	28	4,963	37,162
7	23	580	3,623
8	30	1,676	7,982
9	23	2,190	11,282
10	27	1,036	5,211
11	31	2,309	10,916
12	27	1,878	10,623

Número total de manzanas = 317

Número total de viviendas = 21,202

Número total de habitantes = 119,669

Cuadro N° 4.8 Número de viviendas totales por tipo y por zona

Zona	A	B	C	D
1	152	152	230	76
2	146	147	256	36
3	149	224	186	37
4	948	474	474	-
5	1622	1080	181	-
6	2480	1862	621	-
7	436	108	36	-
8	838	628	210	-
9	1095	685	410	-
10	647	259	129	-
11	290	720	1154	145
12	-	587	1174	117
Total =	8804	6926	5061	411

2.- Evaluación a nivel de manzana.- Este procedimiento sirve como complemento y en parte comprobación de la evaluación a nivel de vivienda, se obtiene una idea bastante rápida de materiales y tipos (ya hallados por el procedimiento anterior) y alturas no solo de viviendas sino de cualquier edificio, número de callejones, ancho de calles, no abarcados por aquel método.

Cuadro N° 4.9 Resultados por TIPOS para cada una de las 48 manzanas encuestadas.

Zona	Manzana	Tipo	Zona	Manzana	Tipo
1	1.1	C	7	7.1	B
	1.2	B		7.2	A
	1.3	C		7.3	B
	1.4	C		7.4	B
2	2.1	C	8	8.1	A
	2.2	B		8.2	A
	2.3	C		8.3	B
	2.4	B		8.4	B
3	3.1	B	9	9.1	B
	3.2	B		9.2	B
	3.3	B		9.3	C
	3.4	B		9.4	B
4	4.1	C	10	10.1	A
	4.2	B		10.2	B
	4.3	B		10.3	B
	4.4	C		10.4	B
5	5.1	B	11	11.1	B
	5.2	A		11.2	B
	5.3	A		11.3	C
	5.4	B		11.4	B
6	6.1	B	12	12.1	C
	6.2	B		12.2	B
	6.3	B		12.3	C
	6.4	B		12.4	C

Cuadro N° 4.10 Del cuadro anterior, hallamos el siguiente resultado por TIPOS para las 12 zonas en conjunto.

Tipo	N° de manzanas	% de manzanas
A	6	12
B	30	63
C	12	25
D	0	0
Total	48	100

Cuadro N° 4.11 Resultados de la encuesta en porcentajes de MATERIALES para cada zona.

Zona	% de Materiales			
	Qui, y Ad.	Madera	Ladrillo	Conc. Arm.
1	31	1	50	18
2	31	3	55	11
3	48	14	36	2
4	46	2	50	2
5	61	1	31	7
6	41	23	36	0
7	65	6	15	14
8	68	1	22	9
9	56	0	33	11
10	48	7	31	14
11	22	5	69	4
12	0	0	87	13

Del cuadro anterior, hallamos el siguiente resultado por MATERIALES para las 12 zonas en conjunto.

Quincha y Adobe = 43%  
Madera = 5%

Ladrillo = 43%  
Concreto Armado = 9%

Tabla N° 4.12 Porcentaje de pisos para cada zona

Zona	Número de pisos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	34	49	3	10	0	0	0	4
2	12	82	5	0	1	0	0	0
3	80	18	0	0	0	2	0	0
4	60	37	3	0	0	0	0	0
5	50	43	7	0	0	0	0	0
6	83	17	0	0	0	0	0	0
7	32	41	18	2	7	0	0	0
8	70	23	6	1	0	0	0	0
9	69	23	6	2	0	0	0	0
10	74	21	4	1	0	0	0	0
11	49	47	2	2	0	0	0	0
12	52	44	4	0	0	0	0	0

Del cuadro anterior obtendremos para las 12 zonas:

Para 1 piso            55%  
" 2 pisos            37%  
" 3 pisos            5%  
" 4 pisos            1.5%  
" >4 pisos           1.5%

f) Comparación de resultados obtenidos por ambos procedimientos

Se hacen dos comparaciones que son básicas, es decir, por tipos y por materiales.

1.- Por Tipos:

Tipo	% a nivel de	
	Vivienda	Manzana
A	40	12
B	30	63
C	27	25
D	3	0

2.- Por Materiales:

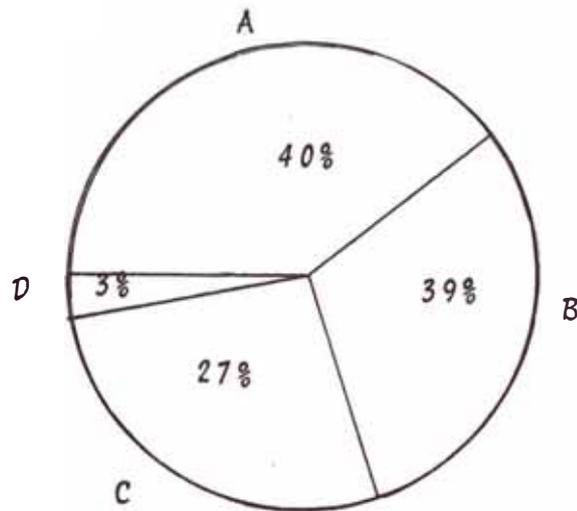
Material	% a nivel de	
	Vivienda	Manzana
Qui. y Ad.	47	43
Madera	6	5
Ladrillo	44	43
Conc. Arm.	3	9

Observaciones.- De la comparación de resultados por tipos se observa una cierta diferencia debida tal vez en la elección de la vivienda, pero si juntáramos los tipos A y B en uno solo los resultados se vuelven muy aceptables.

En cambio la comparación de resultados por materiales es grandemente aceptable, es decir ambos métodos se comprueban.

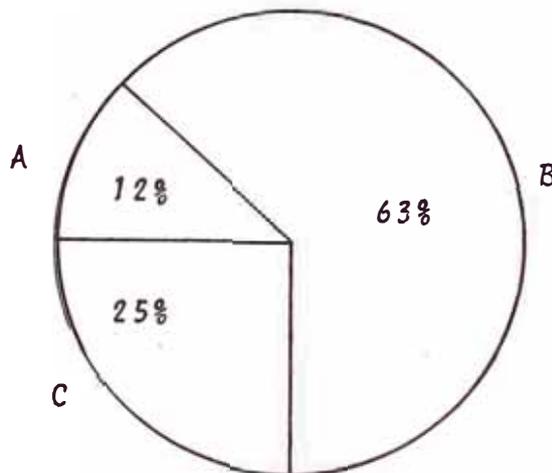
GRAFICA DE TIPOS DE VIVIENDAS EN ZONAS BAJAS DEL  
CALLAO - PORCENTAJES

1.- A nivel de vivienda\*



\* Sobre un total de 192 viviendas (en 48 manzanas)

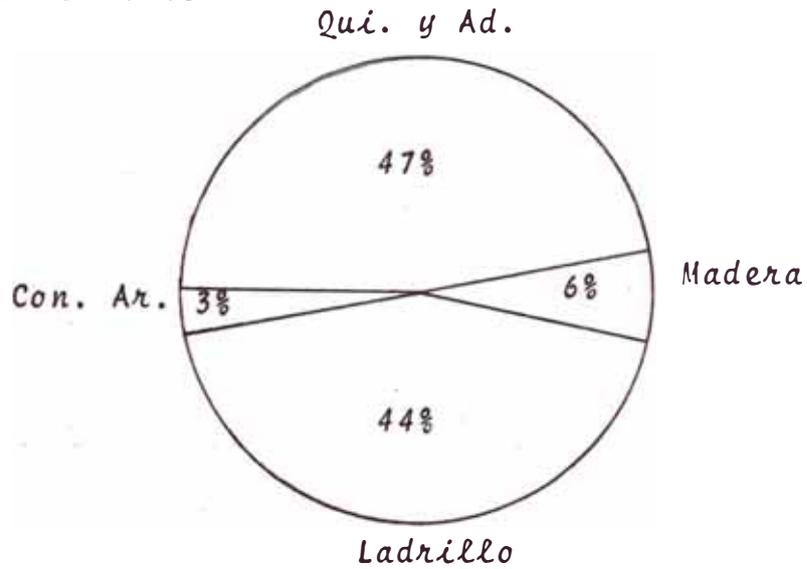
2.- A nivel de manzana \*\*



\*\* Sobre un total de 48 manzanas.

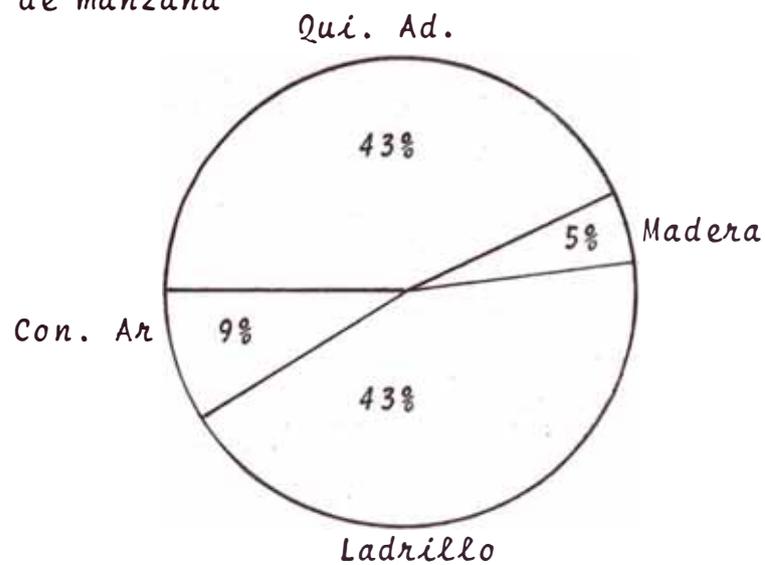
GRAFICA DE MATERIALES DE VIVIENDAS EN ZONAS BAJAS DEL  
CALLAO - PORCENTAJES

1.- A nivel de vivienda\*



\* Sobre un total de 192 viviendas (en 48 manzanas)

2.- A nivel de manzana\*\*



\*\* Sobre un total de 48 manzanas.

F O T O G R A F I A S



Foto N°1. Plaza de Armas de La Punta. Gran cantidad de residencias de 2 pisos y al fondo algunos edificios de concreto armado.

Foto N°2. Edificio de 8 pisos en La Punta a ambos costados y en los niveles 2 y 3 existen rajaduras horizontales debidas posiblemente a la influencia del suelo.



Fotos N°s 3 y 4. Viviendas residenciales, que son típicas en La Punta, tienen dos pisos mayormente y algunas tres.

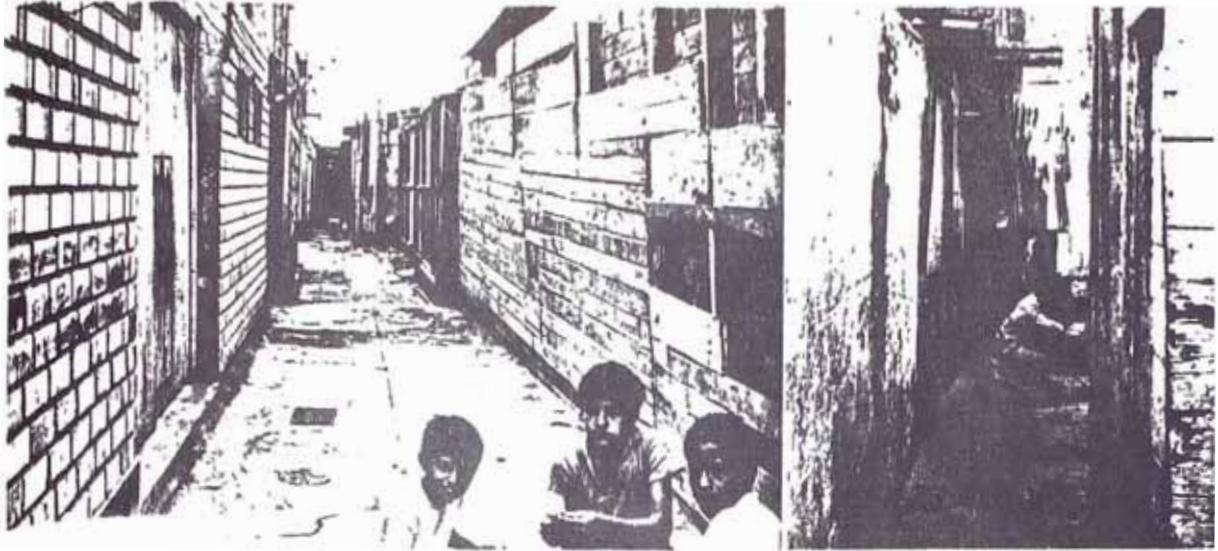


Foto N° 5. Construcción de madera en mal estado en la Cdra. 4 de Gamarra Chucuito (zona 3). Un tsunami de grado 2 ó 3 podría arrasarlo.

Foto N° 6. Vivienda precaria, también en Gamarra. Las paredes están pandeadas.

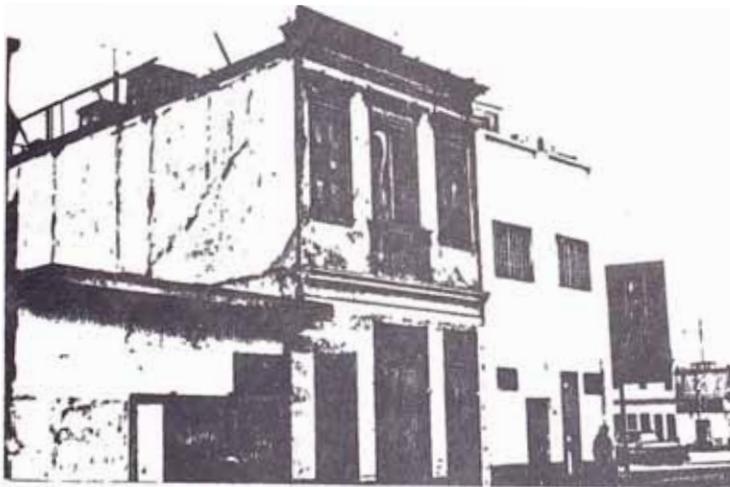


Foto N° 7. Dos viviendas en estados completamente diferentes. Se estima que la antigua no resistiría el sismo de intensidad VIII. (zona 4).

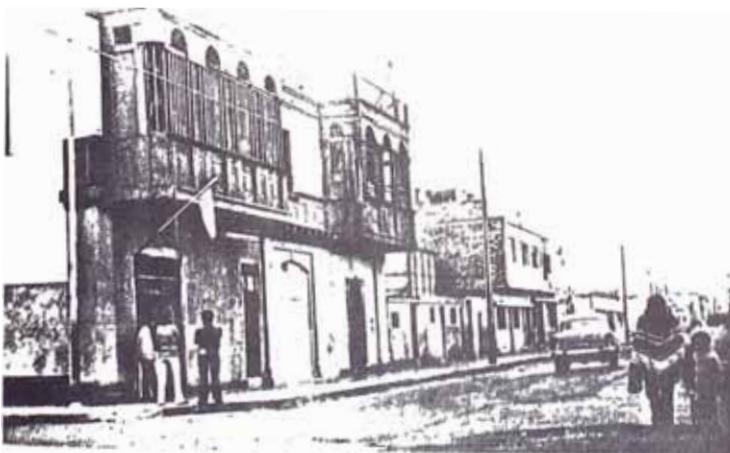


Foto N° 8. Una calle en la zona 4, se observan viviendas de dos generaciones. La pista está deformada por el suelo blando.



Foto N° 9. Un callejón en la Av. Bs. Aires (zona 5) paredes inclinadas, marco deformado y angosto.



Foto N° 10. Vista panorámica de la Av. Saenz Peña, Cdra. 5 (zona 5). Es una zona comercial de edificaciones muy antiguas de quincha y adobe de 2 pisos. Se estima que las pérdidas serían graves en esta zona.



Foto N° 11. Viviendas típicas de la zona N° 6, son de madera en estado muy precario. Un tsunami que ingresara por la mar brava las arrasaría.

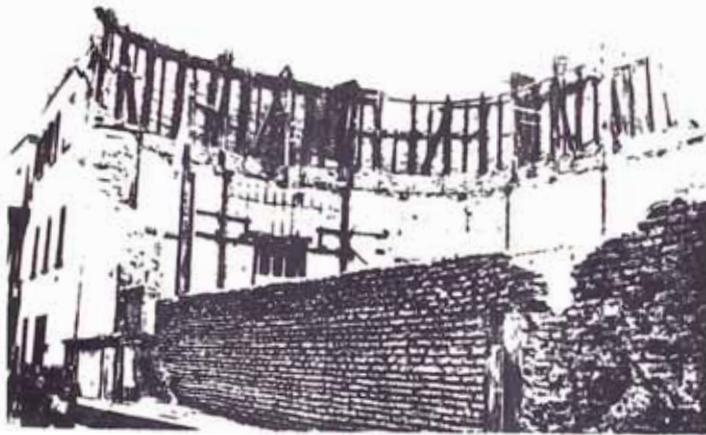


Foto N° 12. Nuevamente viviendas en la zona 6, pero aquí se aprecia el suelo muy agrietado y deformado.



4 fotografías correspondientes a la zona N° 7. (son los N°s: 13, 14, 15 y 16).

La primera muestra una calle típica de esta zona, es decir viviendas de quincha y adobe de uno y dos pisos, antiguas, mayormente de los tipos A y B, antiguas mayormente de los tipos A y B; las calles son angostas, lo que hace al peligro mayor en caso de sismo y/o tsunami.



U. -



La segunda muestra la Iglesia Matriz destruida por el terremoto de Octubre de 1966.

La tercera, vivienda de dos pisos, los muros de esos pisos están inclinados hacia diferentes lados.

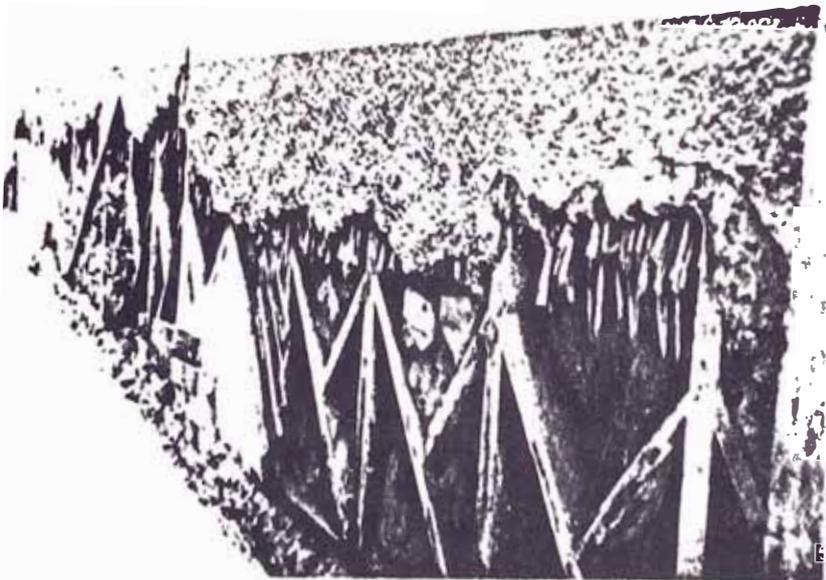
En la cuarta se observa una calle (Constitución), aquí se aprecia fuertes deformaciones del terreno, obsérvese los marcos de las puertas.



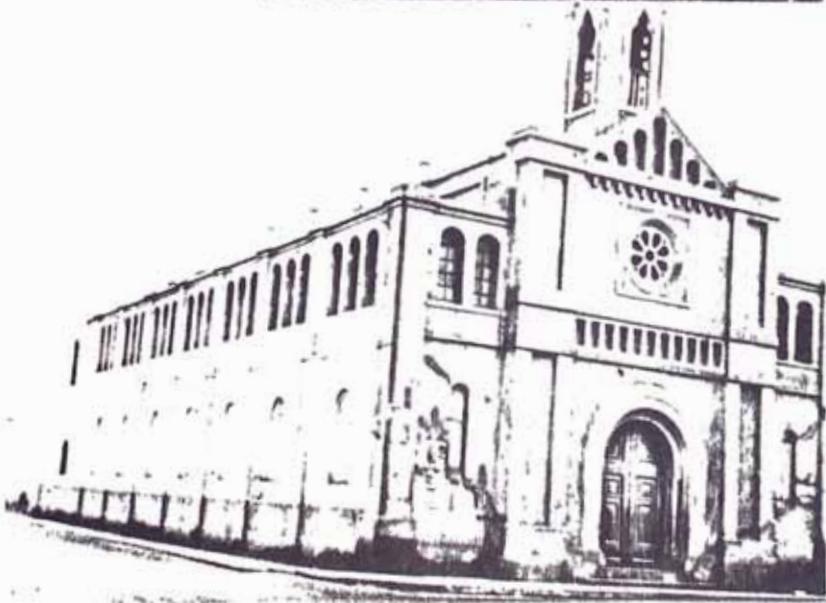


3 vistas de la zona N° 11 (fotos N°s 17, 18, y 19).

La primera muestra una vista panorámica del Jirón Antonio M. Quesada, se aprecia mayormente viviendas de un sólo piso de adobe, antiguas. La calle es amplia, pero al igual que en otros lugares el pavimento está agrietado.



La segunda muestra la parte inferior de una vivienda, los efectos del tiempo lo han carcomido, debilitándolo



La tercera muestra una Iglesia ubicada en la Cuadra 9 del Jr. A. M. Quesada; en la fachada, parte inferior se aprecian dos agrietamientos simétricos resanados defectuosamente.

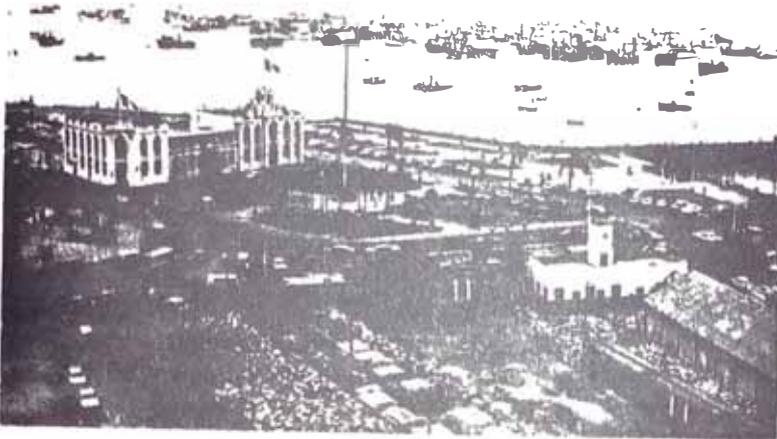


Foto N° 20. Vista panorámica de la Plaza Grau y al fondo el mar (rada exterior) donde se aprecia una gran cantidad de embarcaciones menores, potencialmente en gran peligro para el caso de un tsunami originado localmente.

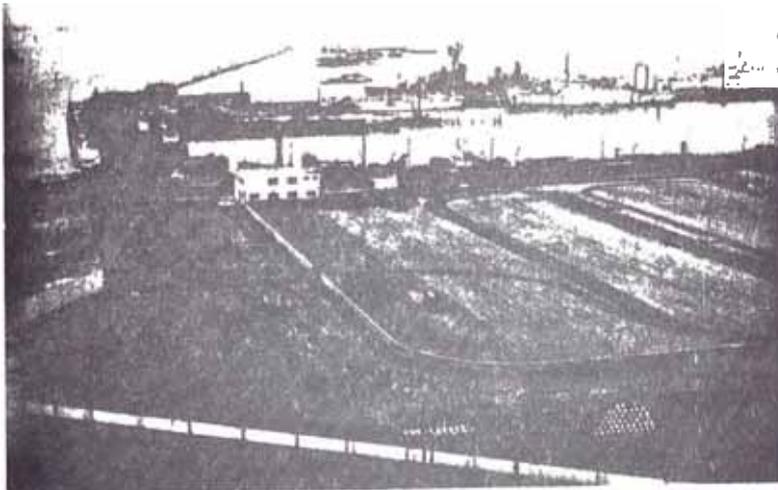


Foto N° 21. Vista de una parte del lado sur del Terminal, barcos descargando en el Muelle N° 9, muelle que se encuentra agrietado. Al fondo, casi imperceptible se encuentran barcos de la Armada Peruana.

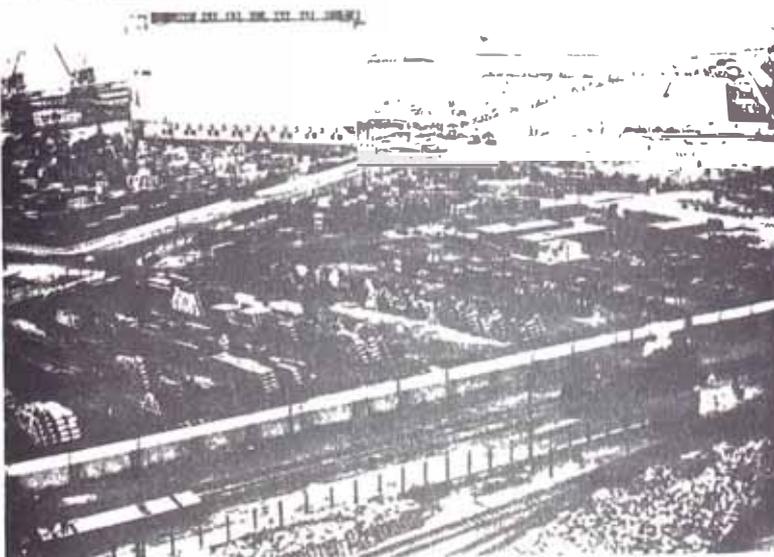


Foto N° 22. Otra vista del Terminal Marítimo del Callao, en el extremo superior izquierdo se aprecian los silos, su posición sería muy favorable en caso de que un tsunami llegara con dirección normal a la costa, pues para esta dirección, la superficie es mínima.

#### 4.20 Estimación de probables daños

Como se verá enseguida, la estimación de daños por tsunamis es una tarea sumamente delicada por la gran cantidad de variables que intervienen cuando se produce el fenómeno. Se hace presente que cuando ocurrieron tsunamis, los análisis solamente llegaron a hacer estimaciones de daños.

Antes de formular nuestra hipótesis específica para la estimación de daños (pues nuestro problema planteado es la presencia de un tsunami en el área del Callao), es bueno aclarar que en general los daños serán función de:

1.- Variables que influyen hasta la llegada del tsunami a la estructura, y son:

- a. Magnitud del sismo generador
- b. Lugar del epicentro
- c. Profundidad del hipocentro
- d. Mecanismo generador (componente vertical del desplazamiento).
- e. Geología cercana al epicentro (para tsunami originado localmente).
- f. Topografía submarina
- g. Batimetría de la costa
- h. Variación de las mareas (en algunos lugares)
- i. Posibilidad de defensa natural que pueden brindar algunas islas.
- j. Forma de la bahía
- k. Orientación de la costa (para tsunamis originados lejanamente).

2.- Variables relacionadas directamente con la estructura, son:

- a. Tipo de estructura (tamaño, materiales de construcción, forma, etc.)
- b. Antigüedad (estado)

- c. Altura sobre el nivel del mar (cota)
- d. Distancia hasta la playa
- e. Posibilidad de ser defendida por otras estructuras.
- f. Posición con respecto a la dirección de la ola.
- g. Posibilidad de ser chocada por embarcaciones
- h. Diseño mismo de la estructura.
- i. Cantidad de estructuras a ser afectadas.

A las variables anotadas anteriormente hay que agregar el tipo de suelo sobre el cual está la estructura, nivel de napa freática, etc.

Por otra parte, sabemos que un tsunami no solo causa daños a las estructuras, sino también a las embarcaciones, mercaderías, equipos, maquinarias, etc., y sobre todo causa pérdidas de vidas.

#### 4.21 Formulación de la hipótesis de trabajo

La hipótesis es el paso fundamental en el inicio de trabajos de investigación, es una presunción de ciertos indicios, es una respuesta provisional, sujeta a comprobación que se propone a una pregunta o problema. El problema puede tener varias hipótesis, lo recomendable es que dado el problema se consideren, en principio, todas las hipótesis posibles o sea varias posibles respuestas.

Si trabajamos con una sola hipótesis, esta puede quedar aceptada, modificada o destruída (en nuestro caso habría que esperar el evento), por consiguiente, además de la suposición de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII (solo sismo), que se ha planteado para Lima Metropolitana, tenemos nuestro problema fundamental, esencia de la Tesis - OCURRENCIA DE TSUNAMI EN EL AREA DEL CALLAO -, esto engloba dos casos bien marcados:

- *Tsunami originado cerca al Callao por un terremoto de gran magnitud (sismo + tsunami).*

- *Tsunami originado en cualquier región del Círculo de Fuego del Pacífico (solo tsunami).*

*En resumen se hará la estimación de probables daños para los tres siguientes casos:*

- a. Solo sismo*
- b. Sismo y tsunami juntos*
- c. Solo tsunami.*

*La hipótesis para el caso de solo sismo, ya está planteada.*

*Para plantear la hipótesis en el caso sismo y tsunami juntos, se ha tenido en cuenta que el sismo sea de intensidad VIII-IX, y el tsunami de cierta importancia, estas consideraciones han conllevado a que las posibles magnitudes del terremoto podrían ser de 7.5, 8, u 8.5 de la Escala de Richter; adoptando la magnitud  $M=8$  y observando la Fig. 2.6, obtenemos que la posible altura  $r_{unup}$  sea de 8 m (línea continua), con un máximo  $r_{unup}$  nominal de 14 m. (línea de trazos). La Fig. 2.7 nos indica que la posible magnitud del tsunami  $m$ , estaría entre 2 y 3, con la profundidad focal menor de 50 Km. Por otra parte, la Tabla 2.1, indica que para 6-8 mts. de máximo  $r_{unup}$ , la magnitud del tsunami es de 2.5. Así mismo se pone de relieve que la componente vertical del desplazamiento tectónico sea importante.*

*Nuestro epicentro podría estar ubicado en cualquier punto cercano a nuestra costa frente al departamento de Lima.*

*Es de importancia considerar el caso de un terremoto con las mismas características anotadas pero con epicentro frente a los departamentos de Arequipa o Lambayeque, el tsunami que se*

podría originar, también tendría graves consecuencias en el Callao, claramente que la intensidad del sismo sería menor que en el caso anotado anteriormente. Este último caso lo podríamos catalogar como tsunami semi-local para el Area del Callao.

El caso de solo tsunami se verá más adelante.

#### 4.22 Daños en Area Portuaria

a. Solo sismo. Por ser el suelo del Callao, un suelo blando, se ha considerado aumentar en un 10% los daños para cada tipo indicado anteriormente, es decir:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
A	Total
B	C. de r. 40-70% de su valor
C	C. de r. 20-30% " " "
D	C. de r. 10-20% " " "

Anteriormente ya se han hecho las calificaciones por tipos para los edificios, muelles, almacenes.

Se estima que los rompeolas tienen calificación C.

Para zonas y anexos se estima que los daños serán de los tipos B y C, siendo 7 de B y 11 de C. En pistas 9 de B y 21 de C; todas las veredas están en el tipo B.

Para las otras instalaciones solo se indica su valor económico no haciéndose su estimación de daños, en igual forma muchos equipos podrían ser afectados.

#### b. Sismo y tsunami juntos.

Para la estimación de daños en este caso se tendrán que plantear las probables hipótesis y una nueva escala de calificación de daños, es decir:

La intensidad entre VIII y IX.

Magnitud de tsunami  $m = 2.5$  (máx. runup. = 6-8 mts.)

Velocidad de agua = 8 m/s (30 Km/hr).

N° de olas = tres

Se considera que las estructuras de concreto armado están diseñadas considerando efectos de sismos. En el análisis de daños de las estructuras, no se considera impacto por embarcaciones u otros objetos flotantes no obstante que hay gran probabilidad de que ello suceda, la razón es que es imposible predecir que estructuras serán impactadas, tampoco se considera daños por posibles incendios, ni transporte de sedimentos.

En base a las consideraciones anotadas se ha confeccionado la siguiente escala de probables daños:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
A <sub>1</sub>	100%
B <sub>1</sub>	100%
C <sub>1</sub>	+ 50%
D <sub>1</sub>	+ 30%

Las calificaciones se hacen en base a la calificación para sismo solo, las de tipo A han pasado a A<sub>1</sub>, las B a B<sub>1</sub>, etc.

### c. Solo tsunami

En consideración de los últimos grandes tsunamis que han ocurrido en el Pacífico, podemos esperar que las alturas runup en el Callao de tsunamis originados lejanamente no pasen de 3 - 4 mts., así mismo como las mareas no varían mucho en este lugar, podemos suponer que el nivel de la marea sea el del ni -

vel medio del mar en el momento del tsunami, que la velocidad del agua sea de 8 m/s. Bajo esas consideraciones podemos esperar en el Terminal Marítimo del Callao los siguientes efectos:

- Destrucción de armaduras ligeras de edificios y estructuras de madera.
- Estructuras de concreto armado mal diseñadas o mal construídas sufren serios daños.
- Estructuras de concreto armado correctamente diseñados resisten la fuerza del agua con pocos daños.
- Reducción de daños en estructuras débiles ubicadas aguas abajo de estructuras fuertes.
- Estructuras sin cimentación por pilotes, gran probabilidad de ser removidas de sus cimientos.
- Los rompeolas sufren gravemente cuando la dirección de la ola los golpea transversalmente, asimismo cuando la densidad de las rocas solamente están calculadas para resistir olas de viento.
- Los muelles sufren más por impacto de barcos anclados que por la fuerza misma de la ola.
- La erosión del terreno también ayuda a incrementar los daños.
- Maquinarias y equipos son barridos decenas de metros tierra adentro.
- Automóviles y/o ferrocarriles son volcados y arrastrados.
- Cuantiosas pérdidas en mercaderías almacenadas.

No obstante todo lo mencionado, aquí solo se estima daños por fuerza del agua - no por colisión de barcos y/o materia

les flotantes. Asimismo tampoco se estiman pérdidas en máquinas, equipos y mercaderías.

Nuestra escala para estimar daños en este caso será:

<u>Típos</u>	<u>Daños</u>	
	(1 piso)	( 1 piso)
A	100%	100%
B	60%	30%
C	30%	10%
D	10%	5%

Las calificaciones se hacen en base a los tipos A, B, C, y D, hechos para sismo solo, pasando las de tipo A a A, B a B, y así sucesivamente.

#### 4.23 Daños en el área de Viviendas

a. Solo sismo (intensidad VIII-IX MM)..- Los porcentajes de daños considerados en la tabla de clasificación por tipos para Lima son aumentados en un 10% más debido a que el suelo del Callao es un suelo blando, pues la hipótesis para Lima es intensidad VIII, donde el suelo es mucho mejor.

Nuestra nueva tabla de clasificación por tipos, será la siguiente:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
A	Total
B	entre el 40-70% de su valor
C	" " 20-30% " " "
D	" " 10-20% " " "

De los resultados de la evaluación del estado actual de las edificaciones, podemos obtener los siguientes resultados ya redondeados:

Viviendas tipo A =	8,800
" " B =	6,900
" " C =	5,100
" " D =	400

Los resultados indicados, nos permiten estimar que se esperan grandes daños en el area; las viviendas tipos A y B son las que sufrirán grandemente y ellas representan alrededor del 70%, y en promedio en este 70% viven unas 80,000 personas, ya que en el area de estudio viven alrededor de 120,000 personas.

b. Sismo y Tsunami juntos.-

Hipótesis: Intensidad de sismo VIII-IX

Dirección de ola, indicado en el plano

Máximo runup = (6-8 mts)

Velocidad del agua = 8 m/s.

Consideraciones dadas en 4.22b

1. En cotas bajas (viviendas ribereñas, ver plano N°5). Las edificaciones ubicadas en esta area recibirían el mayor impacto de la fuerza del agua, por lo tanto son areas donde se producirán los mayores daños, en el plano se ha achurado con color rojo hasta una o dos cuadras. En el Distrito de La Punta se ha achurado todo por tener el terreno las cotas más bajas y tener mar por ambos lados.

La escala para la estimación de daños es la siguiente:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
A <sub>b,1</sub>	100%
B <sub>b,1</sub>	100%

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
$C_{b,1}$	+60%
$D_{b,1}$	+30%

De la encuesta tenemos para esta area:

	<u>N° de viv.</u>	<u>Daño</u>
$A^+$	901	100%
B	748	100%
C	775	60%
D	149	30%

<sup>+</sup>Recordar que el tipo A a pasado a ser tipo  $A_{b,1}$ , etc.

2. En cotas intermedias. Area comprendida a partir del límite para viviendas ribereñas hasta la cota 4. En esta area el efecto de las olas será bastante bajo con relación al caso anterior, se estima que la acción de ellas se asemejaría más una inundación de marea, se ha achurado de color anaranjado.

La escala para la estimación de daños es la siguiente:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
$A_{i,2}$	100%
$B_{i,2}$	+ 70%
$C_{i,2}$	+ 35%
$D_{i,2}$	+ 15%

De la encuesta para esta area tenemos:

	<u>N° de viv.</u>	<u>Daño</u>
$A^+$	3659	100%
B	2416	+ 70%
C	1738	+ 35%
D	79	+ 15%

3. En cotas altas. Area comprendida a partir de la cota 4 hasta el límite del area de estudio, se ha achurado con

color amarillo en el plano. Se estima que las aguas no llegarían a esta zona por lo que los daños serían los mismos que para sismo solo.

<sup>+</sup>Recordar que el tipo A a pasado a ser tipo  $A_{b,2}$ , etc.

c. Solo Tsunami.-

Hipótesis: -Máximo runup = 3-4 mts.

-Nivel de la marea en el momento del tsunami  $\cong$  nivel medio del mar.

-Velocidad del agua  $\cong$  8 m/s.

-Sin concentración de energía por forma de bahía.

Las areas estan divididas en igual forma que para el caso b. los colores también son los mismos.

1. En cotas bajas.- La escala de daños es la siguiente:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
$A_{b,2}$	100%
$B_{b,2}$	+ 60%
$C_{b,2}$	+ 30%
$D_{b,2}$	+ 10%

El número de viviendas por tipo es el mismo que en el caso anterior, es decir:

	<u>Nº de viv.</u>	<u>Daño</u>
$A^+$ $A_{c,1}$	901	100%
B $B_{c,1}$	748	60%
C $C_{c,1}$	775	30%
D $D_{c,1}$	149	10%

<sup>+</sup>El tipo A a pasado a ser tipo  $A_{c,1}$ , etc.

2.- En cotas intermedias

Para este caso se ha tomado el 50% de las viviendas del área del caso b (sismo + tsunami), para lo cual se ha tomado el runup de este caso.

La escala de daños es la siguiente:

<u>Tipo</u>	<u>Daño</u>
$A_{i,2}$	+ 50%
$B_{i,2}$	+ 30%
$C_{i,2}$	+ 10%
$D_{i,2}$	0%

El número de viviendas es igual que en el caso anterior.

	<u>N° de viviendas</u>	<u>Daño</u>
A+	3659	50%
B	2416	30%
C	1738	10%
D	79	0%

3.- En cotas altas.- Se estima que en este caso las aguas no llegarán a sobrepasar la cota 4, por lo tanto no se espera ningún daño.

+ El tipo A ha pasado a ser  $A_{i,2}$ , etc.

#### 4.30 ESTIMACIÓN DE PROBABLES PERDIDAS ECONOMICAS

Las estimaciones de probables pérdidas económicas para el Area Portuaria (Terminal Marítimo del Callao), se hará en base a valores económicos al 31-3-73, datos que fueron adquiridos de sus archivos.

Para el Area de Viviendas, se han considerado los valores unitarios proporcionados por la Legislación Tributaria del Perú.

#### 4.31 Pérdidas económicas en el Area Portuaria

##### a. En caso de solo sismo

1. En edificios: <u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
A	0.00
B	5'790,870.00
C	2'152,550.00
D	6'683,340.00
<hr/>	
Total S/.	14'626,660.00

Aprox. S/. 15 millones.

2. En almacenes: <u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
A	0.00
B	1'373,285.00
C	12'912,405.00
D	4'100,000.00
<hr/>	
Total S/.	18'385,690.00

Aprox. S/. 18 millones.

3. Muelles y rompeolas

I. Muelles: <u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
A	0.00
B	64'106,520.00
C	38'320,800.00
D	73'495,030.00
<hr/>	
Total S/.	175'922,350.00
Aproxi. S/.	180 millones

II. Rompeolas: <u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
C	88'817,000.00
Aproxi. S/.	90 millones

4. Zonas y Anexos

<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
A	0.00
B	1'381,535.00
C	9'275,445.00
D	0.00
<hr/>	
Total S/.	10'656,980.00
Aproxi. S/.	11 millones

5. Pistas: Aprox. S/.

36 millones

6. Veredas

S/.

1 millón.

Resumen probables pérdidas económicas por sismo solo

Edificios .....	S/.	15 millones
Almacenes .....	18	"
Muelles .....	180	"
Rompeolas .....	90	"
Zonas y Anexos .....	11	"
Pistas .....	36	"
Veredas .....	1	"

Total S/. 351 millones

Aprox. S/. 350 millones

Considerando las otras estructuras, tales como silos, obras complementarias, instalaciones eléctricas, instalaciones de agua y desagüe, las pérdidas llegarían al orden de los 500 millones de soles.

Se recalca que estas pérdidas estimadas pueden aumentar al considerar equipos, maquinarias y otras instalaciones que podrían ser afectados por el sismo.

b. En caso de sismo y tsunami juntos

1. En edificios: Tipo	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
A	0.00
B	13'200,000.00
C	4'330,000.00
D	20'500,000.00
<hr/>	
Total S/.	38'030,000.00
Aprox. S/.	38 millones

2. En almacenes:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	A	0.00
	B	5'120,000.00
	C	21'500,000.00
	D	12'300,000.00
<hr/>		
	Total S/.	38'920,000.00
	Aprox. S/.	39 millones.

3. En muelles:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	A	0.00
	B	112'150,000.00
	C	75'000,000.00
	D	143'000.000.00
<hr/>		
	Total S/.	330'000,000.00
	Aprox. S/.	330 millones.

4. En rompeolas: S/. 140'000,000.00

Resumen probables pérdidas económicas por sismo y tsunami

Edificio .....	S/.	38 millones
Almacenes .....	39	"
Muelles .....	330	"
Rompeolas .....	140	"
<hr/>		
	Total S/.	547 millones
	Aprox. S/.	550 millones

Al considerar las otras estructuras e instalaciones, tales como: las pérdidas podrían ascender al orden de los 800 ó 900 millones de soles.

Nuevamente, no se ha considerado los equipos, maquinarias, que indudablemente sufrirán los efectos del tsunami en caso de su ocurrencia.

c. En caso de solo tsunami

1. En edificios:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	A	0.00
	B	4'299,600.00
	C	3'100,000.00
	D	3'947,000.00
	Total	S/. 11'346,600.00
	Aprox.	S/. 12 millones.

2. En almacenes:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	A	0.00
	B	1'237,000.00
	C	4'304,000.00
	D	2'050,000.00
	Total	S/. 7'591,000.00
	Aprox.	S/. 8 millones.

3. En muelles:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	A	0.00
	B	61'033,000.00
	C	38'321,000.00
	D	61'033,000.00
	Aprox.	S/. 160 millones

4. En rompeolas:	<u>Tipo</u>	<u>Pérd. ec. (S/.)</u>
	C	88'818,000.00
	Aprox.	S/. 90 millones.

Resumen probables pérdidas económicas por solo sismo  
del Area Portuaria

Edificios .....	S/. 12 millones
Almacenes .....	8 "
Muelles .....	160 "
Rompeolas .....	90 "
<hr/>	
Total	S/.270 millones

4.32 Probables pérdidas económicas en Viviendas

1. En caso de solo sismo

El procedimiento seguido para la estimación de probables pérdidas económicas ha sido el siguiente:

Dentro de cada tipo según su resistencia sísmica, obtenido de la encuesta, se han tipificado las viviendas según sus materiales de construcción, estado de conservación y antigüedad aproximada, luego por comparación se las clasificó según las categorías y tipos según la Legislación Tributaria del Perú, enseguida a los precios unitarios que da esta legislación

se aplicó las respectivas depreciaciones por antigüedad y estado de conservación, obteniéndose los valores económicos a emplear por metro cuadrado de construcción (ver Anexo D).

Con el área construída promedio (también obtenido de la encuesta) se obtienen los precios por viviendas, los que multiplicados por el número de viviendas dan precios para cada tipificación (Anexo E), luego se obtienen los valores globales para cada zona y para cada tipo según su resistencia sísmica, valores que afectados de los respectivos porcentajes de daños dan las probables pérdidas económicas.

Cuadro N° 4.12.- Resumen de Probables Pérdidas Económicas

1. En el Area Portuaria.

Estructuras	Valor ec. (mill S/.)	Probables Pérdidas Económicas		
		Solo sismo	Sismo Tsunami	Solo Tsun.
Edificios y Oficinas	92	15	38	12
Almacenes	88	18	39	8
Muelles	1079	180	495	160
Rompeolas	355	90	140	90
Totales	1064	303	712	270

2. En el Area de Viviendas

Probables Pérdidas Económicas (millones de soles)		
Solo sismo	Sismo Tsunami	Solo Tsunami
2,068	2,662	921

## C A P I T U L O V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.10 Conclusiones

##### 5.11 De las experiencias ocurridas y estudios realizados sobre tsunamis anteriores.-

1. Las edificaciones ubicadas en tierras ribereñas cuyo material de construcción es madera y fijadas defectuosamente a sus cimentaciones, sufren grandemente, por lo general son levantadas a flote y llevadas junto con las olas, y destruyéndose si impactan con otros obstáculos.
2. Las estructuras que han resistido los tsunamis, sin sufrir graves daños, han sido de concreto armado o estructuras de acero.
3. Los mayores efectos del tsunami principal ocurren cuando las olas llegan en momentos de las más altas mareas.
4. En los criterios de diseño, se tendrá en cuenta la variación de las mareas y la máxima altura del tsunami.
5. Los muelles con conexiones deficientes, en su mayoría han sido destruidos durante tsunamis.
6. En las estructuras cimentadas sobre pilotes, es de importancia que éstos sean capaces de resistir fuerzas verticales de levantamiento, sin ser sacados del terreno.

7. La falta de arriostramiento adecuados, resultaron en grandes destrucciones.
8. Los rompeolas mayormente ceden por ,
  - a. Hundimiento por consolidación del terreno de fundación.
  - b. Asentamiento regional.
  - c. Severa abrasión por flujos de alta velocidad (12 m/seg).
9. Las rocas de los rompeolas que sólo son calculadas para contrarrestar olas generadas por viento, generalmente tienen peso y volumen insuficiente para resistir olas de tsunamis.
10. En áreas cercanas al epicentro, la afección de los depósitos de petróleo casi siempre termina en incendio, lo cual al ser extendido por el tsunami aumenta grandemente los daños.
11. La simple inundación de maquinarias delicadas, determina en muchos casos su inutilización ó en otros casos un elevado costo de reposición.

#### 5.12 En el Area Portuaria

##### a. Con respecto a la evaluación del estado en que se encuentran las estructuras.

1. Casi en su totalidad las estructuras del Terminal Marítimo del Callao son de Concreto Armado, y en su mayoría se encuentran en buen estado. El nivel del trabajo no ha permitido realizar análisis más detallados de diseño, por consiguiente se ha considerado que dichas es

estructuras están bien diseñadas en cuanto a cálculos estructurales.

2. Existe una gran cantidad de edificaciones (oficinas) pequeñas de un solo piso, lo que aumenta el peligro de mayores daños en caso de tsunamis.
3. Por comunicación personal de un inge-niero, quien trabaja en el Terminal Marítimo, las estructuras no están diseñadas considerando tsunamis.
3. Las estructuras más antiguas, han sido clasificadas en los tipos B ó C, es decir se estima que ellas sufrirían más en caso de sismos, así mismo se ha considerado que las estructuras de madera, los rompeolas, pistas sufrirían más que las otras.

h. En la Hipótesis de sismo de intensidad VIII - IX

1. Ninguna estructura colapsaría totalmente, pues son estructuras de concreto armado.
2. Se calcula que alrededor del 30% de las estructuras tendrán daños tipo B.
3. Aproximadamente el 70% de las estructuras soportarían el sismo con daños de los tipos C y D.
4. Las mayores pérdidias económicas se producirían en los muelles y rompeolas, la antigüedad de varios de ellos y sus características particulares, los hacen susceptibles a sufrir los mayores daños. Además estas estructuras tie

nen los mayores valores económicos en el Puerto.

5. Se estima que las pérdidas económicas en las estructuras del Terminal Marítimo del Callao, ascenderían al orden de los 350 millones de soles, a los cuales se tendría que agregar pérdidas en maquinarias, equipos y otras instalaciones que podrían ser afectados por el sismo. Asimismo, en los análisis de posibles daños, no se ha considerado pérdidas por riesgo de incendio.

c. En la hipótesis de sismo y tsunami juntos.

(Con las condiciones indicadas en 4.22 b)

1. Los muelles y rompeolas sufrirían grados variados. Los considerados en el tipo B sufrirían pérdidas por alrededor del 60% de su valor, las de tipo C en un 40% y las de tipo D en un 20%.
2. Las edificaciones, también sufrirían graves daños sobre todo las que no están cimentadas por pilotes, pues esas estructuras podrían ser removidas de sus cimientos, aún las estructuras que se estiman se encuentran en buenas condiciones, sufrirían daños por el 30% de su valor.
3. Los almacenes sufrirían tal vez en grado ligeramente menor que los edificios, pues están cimentados sobre pilotes.
4. La acción erosiva de las aguas destruiría los pavimentos removidos por el terremoto sobre todo en el reflujos.
5. Las pérdidas económicas en las estructuras ascenderían al orden de los 800 a

900 millones de soles.

6. No obstante que no se ha estimado daños por impacto de embarcaciones, existe gran probabilidad de que ello ocurra ya que siempre existen barcos anclados en los muelles, y habría poco tiempo para evacuarlos oportunamente.
7. Evidentemente que las pérdidas en mercancías almacenadas en el TMC serían cuantiosas e incalculables.
8. Las embarcaciones ancladas en los muelles o emplazadas en la rada exterior con gran probabilidad de irse a pique o varadas tierra adentro, el resultado sería grandes aumentos en los daños ya estimados para las estructuras.
9. El número de víctimas sería mayor o menor según que se disponga de tiempo a provechable desde la ocurrencia del terremoto, en otros casos la madurez de las personas en conocimientos de riesgo por tsunami también será un factor influyente en el número de víctimas.

d. En la hipótesis de sólo tsunami

(Con las condiciones indicadas en 4.22 c)

1. Según los registros de tsunamis ocurridos, originados lejanamente en el Océano Pacífico en los últimos 30 años, el que mayor altura alcanzó en el Callao fue el tsunami chileno de 1960, se registró una altura de 2.20 m. los otros alcanzaron 2 m. ó menos. Esto nos da una buena referencia, aunque parcial, de lo que se podría esperar en caso de ocurrencia de tsunamis de similares orígenes. En este

período, no se han registrado tsunamis provenientes de regiones ubicadas al frente de las Costas de América del Sur (ejemplo Nueva Zelanda, Australia, etc.), que podrían llegar a nuestras costas con alturas mayores que las indicadas arriba, debido a la ubicación y orientación de la Costa Peruana con respecto a los orígenes de esos tsunamis.

2. Los mayores efectos de este tsunami ocurrirían en rompeolas, muelles antiguos, y edificaciones de un sólo piso, sin cimentación por pilotes, ubicados en la orilla, pues se estima que la altura del agua sobre el terreno sería de cerca de 2 metros.

3. Los grandes edificios, almacenes, y muelles nuevos soportarían el impacto de las olas, con relativamente pocos daños, desde luego, habrá que tener en cuenta su orientación con respecto a la dirección de las posibles olas.

4. Las maquinarias y mercaderías, sufrirían graves pérdidas, ya sea por golpe o por inundación.

5. Las advertencias, que se espera, emita el Sistema de Alarma del Pacífico, de la ocurrencia de un posible tsunami, permitirían evacuar con tiempo suficiente a los pobladores que se encuentren en las riberas y así salvar sus vidas. En igual forma las embarcaciones, también se podrían poner a salvo.

6. La detección de ondas sísmicas marinas relativamente pequeña en cualquier localidad, justifica su información inmediata - a través del Sistema de Alarma contra Tsunamis - para difundir la alarma a todas las localidades costeras de la aproximación de ondas potencialmente peligrosas.

7. Cualquier retirada del mar, debe considerarse como una advertencia de la aproximación de una onda, la elevación anormal del nivel del mar puede ser también un primer indicio.

8. Las probables pérdidas económicas en las estructuras serían del orden de los 270 millones de soles.

### 5.13 En el Area de Viviendas

a. Con respecto a la evaluación del estado en que se encuentran.

1. De la encuesta realizada a nivel de vivienda y comprobada por el método a nivel de manzana, concluimos que entre el 40% y 50% de las viviendas en las zonas bajas del Callao tienen como material de construcción el adobe y la quincha, dentro de estas un gran porcentaje son antiguas y en mal estado de conservación; aproximadamente el 45% de las viviendas tienen como material de construcción el ladrillo, y las de concreto armado no llegan al 5% (notese que en las cifras anotadas no se incluyen otras edificaciones como edificios públicos, colegios, etc.) por eso en la encuesta a nivel de manzana, se ha obtenido 9% del material concreto armado. Las cifras anteriores, nos indican que hay una gran pobreza de viviendas construidas con material noble, capaces de soportar sismos de intensidades aproximadas al de la hipótesis planteada.

2. En cuanto a alturas, la encuesta a nivel de manzana, ha arrojado el siguiente resultado: De 1 piso, 55%; de 2 pisos, 37%; de 3 pisos, 5%; de 4

pisos, 1.5%, y mayores de 4 pisos, 1.5%. Estos resultados son importantes para estimar daños por tsunamis.

3. Además de las cifras globales anotadas para toda el área de estudio, es de destacar algunas consideraciones particulares, así: en el distrito de La Punta, en su mayoría las viviendas son de tipo residencial por lo general de 2 pisos y amplias calles, que serían ventajas para casos de terremotos, pero su ubicación y muy bajas cotas, lo hacen muy propensas a ataques no sólo de tsunamis, sino también a bravesas del mar. Otra zona que merece destacarse es la zona 6 (Ver fotografías y planos) del Callao, en ella existen gran cantidad de viviendas en estado deplorable construidas de adobe, esteras; sus pistas están muy deterioradas como consecuencia del tipo de suelo del área; además esta zona es la que presenta mayor densidad de población.

En la zona N° 7, el 80% de las viviendas son de quincha y adobe, antiguas y en mal estado de conservación, es la zona que presenta las calles más angostas, el riesgo de graves daños es tanto por incendio, terremotos y tsunami.

En las zonas N°s 11 y 12, se destacan las construcciones de ladrillo, relativamente nuevas, pero que muchas de ellas no tienen columnas.

En casi toda el área, existe una gran cantidad de callejones (en su mayoría en las zonas antiguas) que constituyen serios peligros en caso de terremotos; en 48 manzanas encuestadas, se han contado unos 80 callejones, en el área existen 317 manzanas.

b. Con respecto a la hipótesis de sismo de intensidad

VIII-IX

Los cálculos de la encuesta arrojan el siguiente resultado : Viviendas del tipo A, 40%; del tipo B, 30%; del tipo C, 27%, y del tipo D, 3%. Esos porcentajes expresados en valores totales, son :

Viv. tipo A = 8,800 ; daño total  
" " B = 6,900 ; entre el 40-70% de su valor  
" " C = 5,100 ; entre el 20-30% de su valor  
" " D = 400 ; entre el 10-20% de su valor

Las viviendas de los tipos A y B (70%) nos indican que el problema es muy serio, en ellas vivirían unas 80,000 personas, ya que en toda el área de estudio (según la ONEC), se han encuestado aproximadamente 120,000 personas.

Las probables pérdidas económicas, estimadas, ascienden a alrededor de 2,068 millones de soles.

c. Con respecto a la hipótesis de sismo y tsunami juntos.

1. Indudablemente que las viviendas ribereñas sufrirían todo el embate de las olas (toda el área del distrito de La Punta y parte de las otras zonas), -decreciendo los daños, conforme se avanza del mar hacia tierra. Para realizar los cálculos se ha asumido que las aguas llegarían hasta la cota N° 4, para lo cual se ha tenido en cuenta las consideraciones de la hipótesis y el área de recorrido, sin embargo se aclara que estudios de mayor profundidad podrían variar el área de inundación asumida.

2. Las probables pérdidas económicas para este caso, se ha estimado que llegarían al orden los 2,700 millones de soles.

d. Con respecto a la hipótesis de sólo tsunami

1. Los daños por impacto de olas prácticamente serían en las viviendas ribereñas, en las otras viviendas sólo habría leve inundación, sin embargo también se aclara que se necesitaría estudiar con mayor profundidad el caso.

2. Las pérdidas económicas estimadas para este caso, ascienden al orden de 900 millones de soles.

5.14 Con respecto a conocimientos sobre tsunamis

1. Cualquier movimiento anormal (retirada o salida) del mar debe interpretarse como una advertencia natural de ocurrencia de un tsunami.
2. Las alturas de olas de tsunamis en las Costas es muy variable, y el número de ellas también lo es.
3. Cualquier terremoto de magnitud  $M = 6.5$  o más, con epicentro cerca a la Costa, es potencialmente generador de tsunami.
4. Escasez de divulgación a nivel general, del real peligro que significan la presencia de ondas marinas sísmicas.
5. Nuestro público no está preparado para afrontar eventos catastróficos, como son los tsunamis.

5.20 Recomendaciones

5.21 Recomendaciones Generales

1. En la protección de los tsunamis se tendrá en cuenta :

a. Características de Seguridad y Economía de la región ante estos fenómenos donde se considerará :

- Sismicidad de la región (frecuencias de magnitudes).
- Naturaleza geológica e histórica de fallas que originan terremotos.
- Tendencia estadística de profundidad focal de terremotos locales en relación con la distancia a la costa.
- Vulnerabilidad de la costa a tsunamis transoceánicos.
- Evidencia histórica de movimiento tectónicos de la tierra sean horizontales, verticales o ambos.
- Naturaleza y estabilidad geológica de área costera en lo concerniente a susceptibilidad a desprendimientos submarinos, avalanchas de tierra, y consolidación bajo vibración.
- Historia de la región en lo referente a inundación por tsunami. En el diseño se tendrán en cuenta todas esas consideraciones para lo cual se podrán aprovechar estos dos estudios :

1° Pautas estadísticas tal como la ecuación

$$\log R_{\max} = 0.75 M - 4.82$$

2° Funciones de distribución de frecuencias de ocurrencia de altura runup de tsunami.

- La construcción de barreras anti tsunámicas serán factibles y justificables dependiendo de la economía.
- b) Las fuerzas del agua sobre objetos medianos pueden ser calculadas por la ecuación .... (2.8)
- c) Las fuerzas del agua sobre objetos que presentan grandes superficies continuas, tales como rompeolas, malecones, grandes edificios, etc. pueden ser calculados por la ecuación ..... (2.9)
- d) Los rompeolas tendrán rocas de peso suficiente para resistir las posibles aceleraciones.
- e) Las estructuras con pilotes además de tener su adecuada resistencia estructural tendrán adecuado arriostamiento.
- f) Las viviendas no construidas de concreto armado deben ser ubicadas en el sotavento de los edificios más resistentes.
- g) Los tanques de petróleo serían ubicados en terreno alto o circundados por diques o muros para prevenir derramamiento de petróleo y riesgo de incendio.
- h) Los muelles deben ser diseñados con defensas especiales para absorber choques muchos mayores de los usuales.

## 5.22 Recomendaciones específicas

### En el Area Portuaria

- 1.- En el diseño de nuevas estructuras, incorporar el efecto de tsunamis, es decir :
  - Que tengan cimentación profunda con capacidad para desarrollar suficiente adhesión al suelo a fin de resistir arranque por fuerzas de flotación.
  - Que los edificios sean orientados para exponer su menor dimensión a la posible dirección de la ola.  
  
Que en los edificios el primer piso quede libre, pues los daños por inundación serían inevitables, estas áreas se aprovecharían para playas de estacionamiento .
- 2.- Disminuir en lo posible la construcción de edificaciones pequeñas, pues son las que sufrirían mayormente en caso de tsunamis.
- 3.- Coordinar con todos los puertos de nuestra costa a fin de estar preparados para afrontar con eficiencia situaciones de emergencia en caso de que nuestro Primer Puerto quede fuertemente deteriorado.
4. Que las autoridades de Defensa Civil soliciten a las autoridades portuarias informes sobre:
  - Evaluación de valor económico promedio de mercaderías almacenadas en el Terminal Marítimo del Callao.
  - Embarcaciones emplazadas en la rada del Puerto.

- Número de personas que trabajan en el Puerto y otras eventuales.
- 5. Enviar al extranjero a estudiantes o profesionales a especializarse en Ingeniería de Prevención de daños (contra sismos, tsunamis, etc.)
- 6. Realizar estudios más completos sobre batimetría, geología, topografía de la costa, pues son necesarios en la investigación de estudios más profundos sobre tsunamis.

#### En el Area de Viviendas

1. Que las autoridades respectivas, dicten ordenanzas para que se efectúe la demolición de las viviendas de quincha y adobe, madera, ladrillo, que se encuentren en mal estado, y construir en su lugar edificaciones de mayor altura diseñadas teniendo en cuenta posibles efectos de sismos y tsunamis; así en áreas ribereñas (hasta 3 cuadras por lo menos) construir edificios de tres pisos ó más con cimentación capaz de soportar sismos y/o tsunamis, con formas hidráulicas apropiadas y primer piso libre que sirvan para jardines o playas - de estacionamiento.
2. Señalar todas las calles que no reúnan los más mínimos requisitos de seguridad y viabilidad a fin de rediseñarlas de acuerdo a las modernas técnicas de planeamiento.
3. Dictar ordenanzas a fin de eliminar total

mente la construcción de callejones u otras formas que constituyan peligros para la vida humana.

4. Ampliar el ancho de los callejones existentes hasta 4 metros para edificaciones de un piso, ó 6 metros para construcciones de dos pisos (anchos que podrían variar de acuerdo a estudios más detallados).

#### 5.23 Con respecto a la prevención de pérdidas de vidas

1. Ante la ocurrencia de terremotos locales de gran magnitud, los habitantes de las áreas costeras bajas, deben evacuar hacia lugares altos (hasta la cota 15 como mínimo), hasta cerciorarse de que no existe peligro, o que ello a pasado.
2. Realizar estudios en la costa peruana a fin de indicar los posibles lugares poblados que se estime en gran peligro ante la presencia de tsunamis, para que los organismos oficiales tomen las medidas necesarias en resguardo de la seguridad de las personas.
3. Ante la recepción de alarmas de tsunamis, el público debe permanecer en atención para conocer el comportamiento a seguir, indicado por las Autoridades de Defensa Civil u otro Organismo Oficial.
4. Divulgar conocimientos y educar a las poblaciones ribereñas, de que existe en el Océano Pacífico un Sistema de Alerta permanente contra los Tsunamis, y que su efectividad puede ser de eficiencia muy alta, si hay colaboración del público.

5. Incrementar el número de estaciones sísmicas y mareográficas con modernos aparatos.
6. Ante la ocurrencia de tsunamis, el equipo de científicos y técnicos peruanos, deben tener un plan de acción a fin de obtener el mayor número de datos en provecho de futuras investigaciones.
7. Invitar a expertos en prevención de daños para que trabajen conjuntamente con los peruanos, pues sus conocimientos serían muy provechosos