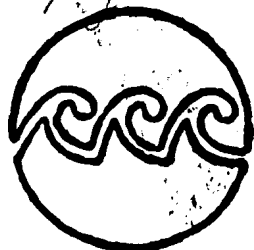




UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología



Colegio de Ciencias y Humanidades  
Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado  
Especialización, Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar

*Maestría Cs. DI. Mar  
(Oceanografía Física)*

ESTUDIO DE REFRACCION DEL OLEAJE EN LA ZONA DE MAZATLAN, SIN.,  
Y EL OLEAJE MAXIMO GENERADO POR EL HURACAN OLIVIA (1975)

**T E S I S**

Para obtener el Grado de  
**MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR**

(Oceanografía Física)

presenta

**JAVIER ALDECO RAMIREZ**

"ESTACION MAZATLAN" ICML  
Mazatlan, Sin.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Mayo 1986



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Estudio de refracción del oleaje en la zona de  
Mazatlán, Sin., y el oleaje máximo generado por  
el Huracán Olivia (1975).

Tesis realizada en la Estación  
Huatlán del Instituto de Ciencias  
del Mar y Limnología, UNAM,  
bajo la dirección del M. en C.  
Yovani Montaña Ley.

## C O N T E N I D O

	PAGINA
Resumen .....	V
Indice de figuras .....	VI
Indice de tablas .....	VIII
Indice de anexos .....	IX
I.- Introducción .....	1
II.- Area de Estudio .....	16
III.- Metodología .....	17
IV.- Resultados .....	33
V.- Discusiones .....	87
VI.- Conclusiones .....	100
VII.- Recomendaciones .....	102
VIII.- Agradecimientos .....	103
IX.- Literatura citada .....	104
X.- Anexos.....	108

## RESUMEN

El objetivo del trabajo es conocer la distribución de la energía del oleaje en las proximidades de Mazatlán, Sin., conocer la altura máxima de ola y la sobre elevación del nivel del agua (Sena) causados por el Huracán Olivia (1975), que es uno de los mas severos registrados en la región.

La distribución de energía en la zona se determinó por el método de ortogonales para refracción del oleaje utilizando una malla exterior y una interior. La Sena se calculó por el método de nomogramas y la ola máxima con el del USACERC (1977; SPM).

Los oleajes que se estudian y sus frecuencias anuales de incidencia para Swell y para Sea son las siguientes: del WNW (NW + W) 54 y 43%, del W 20 y 9%, del SW 2 y 1% y del S 4 y 1%. Este último es el de mayor energía. Los períodos utilizados fueron 16, 12 y 8 seg. La depresión del Huracán Olivia fué de 49.8 mb y su Radio de viento máximo de 43.8 km.

De acuerdo con el estudio, en general, Mazatlán está situado en una zona de dispersión de energía. El Crestón Norte, donde se encuentran las instalaciones del Instituto de Ciencias del Mar, recibe el oleaje del WNW con período de  $T=16$  seg. con un coeficiente de altura  $K=1.5$ ; las olas con períodos de 12 y 8 seg. son detenidas por islotes. El oleaje del S de  $T=16$  seg. llega con  $K=0.8$ . Se sugiere, en un plazo no lejano, realizar obras de protección o la rehabilitación de la playa en las proximidades del Instituto.

La sena calculada fué de 1.5 m. y la altura de ola significativa generada por el huracán y transportada sobre la plataforma continental fué de 6.7 m. al llegar a la costa. El valor de la Sena y el de la ola significativa fueron bajo y moderado, respectivamente.

## INDICE DE FIGURAS

FIG.	PAG.
1.- Esquema de definición de refracción de olas.	38
2.- Refracción de olas por un cañón y domo submarino.	38
3.- Ubicación de la zona de estudio. Malla chica y malla grande.	39
4.- Diagrama de flujo del programa de refracción del oleaje.	40
5.- Angulos de entrada a la malla grande.	41
6.- Dispositivo utilizado para estimar la altura de las olas.	42
7.- Tabla con ranura utilizada para estimar la altura de las olas.	42
8 a 10.- Refracción en la malla grande del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del WNW.	43 a 45
11 a 13.- Refracción en la malla grande del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del W.	46 a 48
14 a 16.- Refracción en la malla grande del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del SW.	49 a 51
17 a 19.- Refracción en la malla grande del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del S.	52 a 54
20 a 22.- Refracción en la malla chica del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente del WNW.	55 a 57
23 a 25.- Refracción en la malla chica del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del W.	58 a 60

FIG.	PAG.
26 a 28.- Refracción en la malla chica del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del SW.	61 a 63
29 a 31.- Refracción en la malla chica del oleaje de 16, 12 y 8 seg., respectivamente, del S.	64 a 66
32.- Trayectoria seguida por el Huracán Olivia (1975).	67
33.- Nomograma para el surgimiento pico en función de AP y R.	68
34.- Factor de somerización para el surgimiento pico vs. distancia a la que se encuentra la isóbata de 18 m.	69
35.- Nomograma para el factor de corrección por movimiento del huracán.	70
36.- Trayectoria del Huracán Olivia (1975), el radio de vientos máximos y lugar del perfil donde se calculó la ola máxima.	71
37.- Perfil de la Sena del Huracán Camila (1969).	72
38.- Isolíneas de altura significativa relativa para un huracán en movimiento.	73
39.- Relación para el coeficiente de pérdida de altura por efecto de fricción sobre un fondo de profundidad constante.	74
40.- Perfil batimétrico frente a Las Cabras, Sin., marea astronómica y Sena provocada por el Huracán Olivia (1975).	75
41.- Coeficiente de altura del oleaje del WNW vs periodos para los lugares donde se hicieron mediciones de oleaje.	76
42.- Relación de las H-RMS medidas vs los coeficientes de altura de ola, $K_a$ , para oleaje del WNW.	77



INDICE DE TABLAS

TABLA	PAG.
1.- Valores mínimos de presión atmosférica registrados en el mundo durante el paso de un huracán.	78
2.- Altura de marea durante el día 24 y 25 de octubre de 1975 (referida al NBMI).	78
3.- Frecuencia de ocurrencia (%) de altura de ola (m.) por mes para la región de Mazatlán, Sin.	79
4.- Frecuencia de ocurrencia (%) de altura de ola (m.) vs dirección del viento para la región de Mazatlán, Sin.	79
5.- Deltas-t (seg.) utilizado para cada serie de corridas del programa de refracción del oleaje.	80
6.- Promedios de dirección y coeficientes de altura de entrada a la malla chica.	80
7.- Características meteorológicas del Huracán Olivia (1975)	81
8.- Factor de somerización para las Costas Este y del Golfo de México de los EUA. vs. distancia a la que se encuentra la isóbata de los 18 m.	82
9.- Coeficiente de altura ( $K_a * K_s$ ) en la isóbata de 5 m. - para diferentes sitios en la costa de Mazatlán, Sin.	83
10.- $H_{RMS}$ , períodos y $K_a$ 's para los lugares donde se hicieron mediciones de oleaje.	84
11.- Cálculos para obtener la Sena (surgimiento pico).	85
12.- Cálculos de la ola de tormenta sobre la plataforma continental y su aproximación a la costa.	86

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO	PAG.
I.- Teoría de la Refracción.	109
II.- Metodología para obtener los nomogramas utilizados para el cálculo de la Sena.	113
III.- Programa "Redmar" para el cálculo de la refracción del oleaje; descripción de variables; malla grande y malla chica y muestra de la salida (output).	122
IV.- Alturas de ola estimadas y periodos medidos para ciertos puntos próximos a Mazatlán, Sin.	145
V.- Tabla de funciones de d/L para obtener H'/Ho.	160

## I.- INTRODUCCION

Entre los fenómenos naturales que más afectan las obras de ingeniería costera está el oleaje. Este presenta condiciones variables en cuanto a su altura y período, y es precisamente la altura (y en menor proporción el período) la que definirá el diseño de la obra, y por lo tanto, los elementos constitutivos de ésta. Conocidos éstos, es posible hacer estimaciones económicas evaluando la obra contra su probabilidad de falla.

El oleaje, para fines de este estudio, se presenta en dos modalidades. La primera es el patrón de oleaje más frecuente; que durante ciertos meses del año está presente y que cuenta con una cierta estadística de dirección de incidencia. La segunda modalidad es la que se refiere al oleaje generado por huracanes durante cierta época del año, aquí, el oleaje que se presenta establece las condiciones máximas que han de soportar las estructuras en la costa. En los siguientes párrafos se expone detenidamente cada una de estas modalidades.

Ambos tipos de oleaje son afectados por la morfología de la plataforma continental, y esta afectación provoca que la energía contenida en las olas se concentre ó disperse, provocando variaciones en la altura final de la ola al momento de hacer contacto con estructuras costeras o en la playa.

Como se mencionó, para el diseño de las obras de ingeniería en el mar y en la costa, uno de los requerimientos indispensables es conocer las características del oleaje. Aquellas que corresponden al oleaje máximo que se selecciona para dimensionar una obra, se designan como oleaje de diseño.

El oleaje de tormenta permite conocer la ola máxima y una cierta

ola de diseño, lo cual a su vez permitirá conocer las fuerzas que se ejercen sobre la estructura, ya que si ésta se diseña para oleajes con periodos de retorno bajos, el oleaje de tormenta la atacará y es probable que la estructura falle antes del final de su vida útil.

Bretschneider (1960) presenta los pasos a seguir para la selección de la ola de diseño para estructuras marinas. Menciona que se requiere el análisis de todos los huracanes pasados, cuando los datos están disponibles. En aquellos casos en los cuales no hay datos disponibles, datos de localidades vecinas o con localización similar pueden ser usados.

Otro factor también determinante en el diseño de obras costeras es la sobre-elevación del nivel del agua (Sena) que se define como el aumento del nivel causado por una perturbación atmosférica (huracán), sobre una zona costera somera lo suficientemente grande. Las causas específicas de los cambios del nivel del agua son: el esfuerzo superficial del viento (y el esfuerzo del fondo relacionado debido a corrientes generadas), aceleración de coriolis, diferencias de presión atmosférica, generación de olas largas por la perturbación atmosférica moviéndose y por la precipitación y drenaje superficial.

La Sena es importante (según USA-CERC, 1977) dado que proporciona un nivel máximo de referencia para el diseño de obras, además de que proporciona al oleaje una plataforma de ataque superior a la normal, esto es, las olas rompen más hacia la costa.

A continuación se presenta, primero, la importancia y teoría de la refracción del oleaje (Rdo); después algunos aspectos sobre huracanes y sobre la Sena, y por último, algunas consideraciones sobre la ola máxima.

Según el USA-CERC (1977) la refracción del oleaje (Rdo) es importante por lo siguiente:

- a).- Junto con la somerización ("Shoaling" o amortiguamiento) de termina la altura de la ola en cualquier punto con una serie de condiciones de oleaje dadas, esto es, altura, período y dirección de propagación de la ola en aguas profundas.
- b).- El cambio de dirección de las ortogonales (líneas perpendiculares a la cresta) de diferentes partes de la ola resultan en convergencia y divergencia de energía, lo cual es importante para el diseño de estructuras costeras.
- c).- La refracción contribuye a la alteración de la batimetría y morfología litoral debido a sus efectos de erosión y deposición causadas por la distribución de energía y el transporte litoral.

El cambio en la altura de una ola que viaja hacia profundidades bajas (somerización) puede ser representado por:

$$\frac{H}{H_0} = K_R \cdot K_S$$

donde H es la altura de ola modificada y H<sub>0</sub> es la altura inicial de la ola en aguas profundas. K<sub>R</sub> y K<sub>S</sub> son los coeficientes de refracción y somerización respectivamente.

El coeficiente de somerización responde por cambios en la profundidad y está dado por:

$$K_S = \frac{n_0 C_0}{n C}$$

donde C y C<sub>0</sub> son las velocidades modificada e inicial respectivamente, y n y n<sub>0</sub> son los coeficientes de transmisión modificado e inicial dados por la Teoría Lineal como:

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$$

donde  $k = 2\pi/L$ , parámetro llamado número de onda, y  $d$  la profundidad. La velocidad de ola de agua somera está relacionada a la velocidad de ola en agua profunda por:  $C = C_0 \tanh kd$ .

En el Anexo V se presentan tablas para obtener los valores de  $K_s$  en términos de  $d/L_0$ , donde  $L_0$  es la longitud de onda en aguas profundas.  $K_s$  está dado como  $H/H_0^2$  (cociente de la altura de ola en agua somera entre la altura de esta ola en agua profunda sin ser afectada por refracción).

Al igual que los rayos de luz son curvados cuando viajan de un medio a otro, las olas son distorsionadas por cambios de la profundidad en aguas relativamente someras. Este curvamiento de las crestas de las olas, o frentes, es llamado refracción. Si una serie de olas largas ( $L$  grande) regulares se aproximan a la costa con algún ángulo oblicuo, y los contornos del fondo (isóbatas) son relativamente uniformes (ver fig. 1), la porción de cresta de ola más cercana a la costa sentirá el fondo primero y tendrá un retardo relativo a la porción de la cresta de ola en aguas más profundas, de modo que la cresta será curvada a lo largo de su longitud. En general, las crestas de las olas tienden a hacerse paralelas con los contornos del fondo como se muestra en la figura 1.

La siguiente discusión está basada en una condición un tanto idealizada de trenes de olas monocromáticos de crestas largas.

El curvamiento del frente de ola está gobernado por la Ley de Snell, la cual establece que donde los contornos del fondo son rectos y paralelos, el seno del ángulo  $\alpha$  entre la cresta incidente y el contorno del fondo es proporcional a la velocidad de propagación de la ola,  $C$ ; por consiguiente:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0}$$

Refiriéndonos de nuevo a la figura 1 para definiciones, una ortogonal es una línea siempre perpendicular al frente de ola y por lo tanto paralela a la dirección de viaje de la ola. Se asume normalmente que la energía de la ola contenida entre ortogonales permanece constante conforme el frente de ola progresa, lo cual implica que no hay dispersión de energía a lo largo de la cresta, no hay reflexión de energía como consecuencia de elevaciones del fondo ni hay pérdida de energía por algún otro proceso.

Basados en la discusión anterior y en el hecho de que la energía es proporcional al cuadrado de la altura de ola, puede demostrarse que ( ver Anexo I):

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b}} \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}}$$

donde  $b$  y  $b_0$  son el espaciamiento original y modificado entre ortogonales y,  $C_g$  y  $C_{g0}$  la velocidad de grupo modificada y la inicial. El coeficiente de refracción,  $K_R$ , entonces está dado por:

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

De acuerdo con la Teoría Lineal de olas,  $K_R$  depende únicamente del período de la ola, de los contornos de profundidad y de la dirección inicial de la ola. En general, las ortogonales tenderán ya sea a converger o diverger conforme la cresta de ola cambia de dirección. Una convergencia de ortogonales resulta en una concentración de energía, y por lo tanto en un incremento en la altura de ola, tal como cuando las olas viajan sobre un promontorio, mientras que, cuando las ortogonales divergen disminuye la energía por unidad de área y causa una reducción en la altura de la ola, esto es, cuando viajan sobre un cañon (fig. 2).

La importancia práctica de la refracción del oleaje puede verse por ejemplo en Jinsi (1982), que en su trabajo de aproximación de tuberías

a la costa (por ejemplo un gasoducto, una salida a un difusor submarino o a una monoboya, etc), menciona que cualquier ruta debe ser seleccionada de manera que se eviten lugares donde la Rdo genere zonas de rompiente severa (concentración de energía) que puedan causar licuefacción de las arenas, áreas donde la erosión o la acreción obligue a un enterrado profundo de la línea, o donde las corrientes inducidas por el oleaje obligue a lastrar o fijar la tubería. Siendo estos factores determinados por la Rdo.

Un huracán se considera una perturbación atmosférica con vientos sostenidos o mayores de 37 metros por segundo (74 nudos), y que es producto de la intensificación de una tormenta tropical (Springall, 1975).

No únicamente la velocidad de vientos define una perturbación como huracán; Myers (en Springall, 1975) encontró que esa condición se satisface si y solo si la presión central es menor de 982.05 mbar. (29 pulg. Hg). A mayor presión central los radios de vientos máximos disminuyen.

La historia de un huracán es confusa, pero una vez formado sus características son similares a sus precesores o sus sucesores. De hecho, para cualquier latitud particular, un huracán puede ser caracterizado por su radio de viento máximo,  $R$ , la anomalía de presión entre el centro y la presión normal,  $\Delta P$ , y de su velocidad de movimiento,  $V_f$ . La energía cinética de un huracán es proporcional a  $R\Delta P$  y, por lo tanto, puede ser usado como índice de energía (Bretschneider, 1959).

El radio de la región de vientos máximos en un huracán es un índice del tamaño de éste y un factor importante en su distribución de presiones. Sobre esto, Springall (1975) hizo un análisis de los radios de viento máximo con base en rangos de clasificación de los índices de presión. Se encontró que los radios medios de viento má-



ximo para cada rango de los índices de presión central seguían una ley semilogarítmica, que ajustada por mínimos cuadrados es :

$$R = \text{antilog} (50.20 \times 10^{-4} P_0 - 3.18) \quad \dots 1$$

donde  $P_0$  es el índice de presión central, en milibares, y R el radio medio de vientos máximos, en kilómetros.

Sobre el tema de huracanes, Hastenrath y Wendland (1979) estudian la variación de la frecuencia anual de éstos, tanto en el Golfo de México y Atlántico, como en el Pacífico Tropical Oriental (Patropor). De acuerdo a su estudio, confirman para el Patropor la temperatura mínima de 27° en la capa superficial del océano, el esfuerzo cortante bajo y la presión atmosférica baja como condiciones para la génesis de huracanes en la zona.

Obasi (1976) hace una muy buena descripción de las áreas de formación de huracanes y estadísticas de su origen. Además presenta los parámetros más importantes para su génesis así como su ciclo de vida. Incluye también, de forma somera, una descripción de la estructura de los huracanes.

Según Jarrel et al (1975) los ciclones (huracanes) son formados en la sección más Este del Patropor y se propagan hacia el oeste y norte. La estación ciclónica puede ser definida que se extiende desde medio mayo hasta octubre; menos del 1% de los ciclones tropicales se forman fuera de esta estación. De su estudio en el Patropor establece que el promedio anual de ciclones es de 14, de los cuales 6 llegan a ser huracanes. Hansen, citado por Harrel et al (1975), menciona que la trayectoria promedio es hacia los 292° variando con la latitud. La velocidad media de los ciclones (Harrel et al, 1975) es de 10 nudos con una desviación estandar de 3 nudos. La relativa incidencia de recurvatura es significativamente menor que su contraparte en áreas del noratlántico y el Pacífico del Oeste, y el tiempo más probable de recur-

vatura es próximo al final de la temporada.

Baum (1975 y 1976) y Gunther (1980) hacen estadísticas de los huracanes ocurridos desde 1966 a 1974, 1975 y 1979 respectivamente; además de presentar una descripción de las características y trayectorias de los huracanes ocurridos en el Patropor durante el año anterior de sus publicaciones. Towry (1975) hace una descripción de los huracanes ocurridos en el área durante 1974 (Patropor).

De acuerdo con Serra (1971), la Costa Occidental Mexicana, de 1921 a 1969, fué más afectada por huracanes y tormentas tropicales que la costa Oriental (Golfo y Caribe). En este mismo estudio se establece que Sinaloa tiene una probabilidad de 0.85 de que cuando menos un huracán al año pase a menos de 200 millas náuticas afectando al estado, y una probabilidad de 0.38 de que cuando menos al año un huracán entre a tierra en el estado. Su criterio (de Serra) es que a menos de 200 millas marinas hay afectación del estado por oleaje, lluvias, vientos etc.

El trabajo elaborado por la World Meteorological Organization (WMO-No.528,1979) da una excelente cobertura sobre el tema de huracanes y métodos para pronóstico de trayectorias, desarrollo, cambios de intensidad etc. Además presenta programas de computadora (en fortran) para la aplicación de las técnicas expuestas.

Para fines ingenieriles aplicados a la construcción y diseño, está muy difundido el uso del Huracán Estandar de Proyecto (HEP) y el Huracán Máximo Probable (HMP) que son tormentas generadas con los datos meteorológicos más severos que se han registrado, y se usan desde en instalaciones costeras comunes (HEP), hasta en proyectos nucleoclétricos (HMP) (Sorensen, 1978).

A la fecha la obtención de datos de huracanes es muy pobre en el país; por ejemplo, en el Golfo de México Sur ha habido 60 huracanes en 86 años, de los cuales sólo se conoce su presión central en cuatro

de ellos por medición directa y en cinco por inferencia (Springall, 1975).

El huracán que se decidió utilizar en este estudio es el "Olivia", el cual entró a tierra el 24 de octubre de 1975. A continuación se habla un poco de sus particularidades. En el capítulo de metodología se explican más a detalle sus características.

De acuerdo con Springall (1975), en su tabla de frecuencia de huracanes por presión central, Olivia se localiza como un huracán con frecuencia de ocurrencia de 20% en 100 años.

En la Tabla 1 se muestran los valores mínimos de presión central registrada de algunos huracanes en el mundo. Al final de la tabla se presenta el valor de la depresión del Huracán Olivia.

Otro factor no menos importante que la refracción del oleaje es la sobre-elevación del nivel del agua (Sena), causada por el arribo de un huracán a la costa.

Entre las variaciones del nivel del mar con periodos mayores que el de las olas generadas por el viento, y que son importantes a la ingeniería de costas, son las causadas por:

- a).- Marea astronómica.
- b).- Tsunami.
- c).- Oscilaciones de la cuenca.
- d).- Sobre-elevación del nivel del agua (Sena).
- e).- Efectos climatológicos.
- g).- Efectos geológicos.

La marea tiene periodos entre 12.4 y 24 hrs. principalmente, mientras que los Tsunamis tienen periodos de 5 a 60 minutos. Las oscilaciones en cuencas son una respuesta resonante a la excitación por algún segmento del espectro de energía del mar. Los periodos varían desde algunos minutos hasta horas en bahías grandes. La Sena es un aumento y luego una caída del nivel del mar causada primordialmente por la variación del esfuerzo del viento y la variación de la presión

atmosférica, teniendo una duración típica de algunas horas a pocos días. Los efectos climatológicos generalmente tienen periodos estacionales o mayores al igual que los efectos geológicos.

La única conexión de la marea de tormenta (Sena) con la marea astronómica, es que si estas otras varias causas del incremento del nivel del mar ocurren durante un periodo de marea alta, entonces se combinan los efectos destructivos (Pond y Pickard, 1978).

Marinos y Woodward (1968) resaltan la importancia del conocimiento y predicción de la marea de tormenta, además, presentan ejemplos de aplicación a huracanes sintéticos.

Donde los huracanes y tormentas extratropicales son comunes, es importante considerar la Sena para cuestiones de diseño. Los cálculos de la Sena requieren un conocimiento de la distribución espacial y temporal de la velocidad de viento, dirección del viento y presión del aire superficial para las condiciones de tormenta de diseño. Es probable que en la costa Pacífica de la Baja California Norte, donde se presentan tormentas extratropicales que resultan de la interacción de masas de aire frío y caliente, sean éstas las que puedan causar una Sena sustancial. Sin embargo, a través de la mayoría de la costa del Golfo de México, y en la costa de Nayarit, Jalisco, Colima y Sinaloa, las peores condiciones de tormenta, o tormentas de diseño, son generalmente un huracán de origen tropical.

La causante principal de las Senas y del oleaje de tormenta para la zona de Mazatlán, Sin., son los huracanes, y como se mencionó anteriormente, para este estudio se decidió utilizar el Huracán Olivia, por ser éste de los más severos que han tocado tierra en las proximidades de Mazatlán, y porque se cuenta con datos de éste.

Si existen suficientes datos históricos, un análisis de periodo de retorno puede ser conducido para seleccionar los parámetros de la

tormenta de diseño teniendo una frecuencia de ocurrencia específica para el área de estudio. También, si están disponibles suficientes datos históricos de la Sena, se pueden desarrollar relaciones directas de surgimiento-frecuencia para una área dada. Sin no existen datos históricos, los vientos de diseño y los campos de presión para un sitio pueden ser establecidos usando las condiciones medidas de la peor tormenta registrada en el área en general.

Entre los métodos para el cálculo de la Sena destacan:

- a).- Solución por medio de métodos de diferencias finitas de las ecuaciones de continuidad y movimiento no estacionarias aplicadas a la masa de agua costera con las condiciones apropiadas de frontera de superficie, de fondo y de margen.
- b).- El método de calcular la elevación que causa cada componente individualmente y al finar sumar todos los componentes (presión, esfuerzo tangencial, coriolis, ondas largas, etc).
- c).- Otro método, el cual hace una aproximación integrando verticalmente las ecuaciones del plano horizontal, despreciando la componente vertical del movimiento. Este método es conocido como "batistrófico" (Sorensen, 1977).
- d).- El método de nomogramas, el cual, a partir de un modelo del tipo anterior (c), con el cual asumiendo factores constantes se obtuvieron los nomogramas que permiten el cálculo de la Sena pico (ver Anexo II).

Freeman et al (1957) definen el método batistrófico para el cálculo de la marea de tormenta. Este método asume una corriente compensadora paralela a los contornos de profundidad (batistrófica), poco transporte normal a las isóbatas, poco cambio de altura paralelo a la costa en relación con el normal, y coriolis no considerado. La solución del problema consiste en determinar el flujo paralelo a los con-

tornos, así como la variación de la altura de nivel del agua normal a los contornos. Marinos y Woodward (1968) establecen que en cálculos de altura de marea de tormenta, la componente a lo largo de la costa (corriente paralela a las isóbatas; batistrófica), juega un papel importante en zonas de plataforma continental angosta.

Una importante predicción a partir de la estadística de oleaje es la ola más alta probable en un período de, digamos, 10 ó 100 años, para evitar ir al a menudo gasto extra considerable de construir la estructura más fuerte de lo que necesita ser (Pond y Pickard, 1978). La aplicación inmediata de estos resultados es para el diseño de estructuras tanto costeras como marinas. A menos que uno pueda predecir exactamente la ola de diseño por huracán y su intervalo de recurrencia, hay poca certeza, si es que la hay, de absoluta seguridad, o de un balance económico justificado entre costo y la seguridad de vidas, ó propiedades e instalaciones. Los cálculos de fuerzas de ola de diseño no pueden ser más precisos que la selección de la ola de diseño.

En el presente hay dos escuelas de pensamiento en cuanto al pronóstico de oleaje; el método Sverdrup, Munk y Bretschneider (SMB; USA-CERC, 1977) y el método Pierson, Newmann y James (PNJ; Kinsman, 1965). El primero usa el término ola significativa y el segundo espectro de oleaje. Ambos métodos son empíricos. En este trabajo utilizaré las bases del método SMB..

Bretschneider (1957) redefine la relación que tiene la velocidad de viento con la altura de ola en un mar completamente desarrollado (mcd). Esto anterior lo hace comparando los métodos para predicción de oleaje PNJ y SMB.

El método SMB de ola significativa es el más difundido para propósitos ingenieriles (Bretschneider, 1957).

En cuanto a las teorías de generación del oleaje por efectos del viento, Barber y Tucker (1962) presentan, de una manera somera, una

descripción de las teorías de generación de olas. Hurtado (1974) hace un tratamiento matemático para desarrollar una teoría para explicar la generación del oleaje. Cavaleri (1982) presenta una descripción, un tanto más rigurosa que las anteriores, de las teorías de generación de oleaje.

Originalmente los métodos de ola de diseño usaban relaciones de pronóstico de ola basadas en velocidad de viento constante. Esto no era un procedimiento correcto para diseño por huracanes, porque el viento sobre el fetch varía tanto en dirección como en velocidad.

En el caso de llevar la ola a través de la plataforma continental, los métodos originales asumían que sólo la refracción y la somerización cambiaban la altura de la ola. Estudios posteriores revelan que la fricción de fondo tiene un considerable efecto modificando la altura de ola de tormenta en aguas someras anteriores a la profundidad crítica de rompiente de  $1.28H_b$ , donde  $H_b$  denota la altura de ola al momento de rompiente (Bretschneider, 1959; Bea, 1983).

Bretschneider (1959) presenta esencialmente el método que aparece en el USA-CERC (1977), y con el cual se obtiene la altura de ola significativa provocada por huracanes.

Longuet-Higgins (1952) encuentra que las olas siguen la distribución de Rayleigh y formula, a partir de la ola significativa, la probabilidad de encuentro de una ola máxima en un registro de  $N$  olas.

De acuerdo con evaluaciones de la aplicabilidad de la función de distribución de Rayleigh a la estadística de huracanes para alturas y períodos de ola, se concluyó que la función de distribución de Rayleigh es adecuada para derivar los cocientes entre  $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $\bar{H}$  etc., con suficiente precisión para diseño en ingeniería. Pero que su aceptación como ley básica para la distribución de alturas de ola es cuestionable (USA-CERC, 1977).

La veracidad del cálculo de una ola de diseño, aplicada a una estructura dada, es cuestionable para cada situación. No es el objetivo, como se mencionó anteriormente, obtener una altura de ola de diseño con valores dados, sino que deben ser acordes a la realidad técnica y económica de la estructura con que se trate. A este respecto Bea (1983) propone un método para la reducción de la altura de diseño en el Golfo de México y plantea que después del Huracán Hilda (1964), las compañías petroleras optaron ajustar valores de ola de diseño después de que hubo varias pérdidas y daños significantes. En su estudio, basado en pruebas aportadas por otros huracanes sobre la nueva generación de plataformas en aguas someras, establece que la funcionalidad es aceptable para estas estructuras. Sin embargo, los costos de estas, también como resultado de estudios recientes, indican una sobrevaloración en el proceso de revisión del criterio de diseño en aguas someras utilizado por la industria después del Huracán Hilda (1964). Esto es, Bea en su trabajo propone un método para el cálculo de una ola de diseño tal que sea menor a la actualmente utilizada por la nueva generación de plataformas. Y lo importante es que no sea ni tan alta ni tan baja, sino adecuada al avance tecnológico de los diseños estructurales, calidad de materiales y soldaduras permanentemente en evolución, y para los fines de la estructura.

Las instalaciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, en Mazatlán, Sin., localizadas en el Crestón Norte (fig. 20), requieren, en un plazo no lejano, la construcción de una estructura que controle la erosión ó, en su caso, la rehabilitación de su playa. La erosión costera en este sitio es un hecho que se consume año con año.

Los objetivos del presente trabajo son:

a).- Conocer el patrón de distribución de energía del oleaje en



la zona de Mazatlán, Sin., y más específicamente en las proximidades de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM).

- b).- Conocer la sobre-elevación del nivel del agua (Sena) causada por el Huracán Olivia (1975) al sur de Mazatlán.
- c).- Determinar la ola máxima generada por el Huracán Olivia en su entrada a tierra al sur de Mazatlán.

Conocidos los objetivos anteriores, la aplicación y utilidad del estudio es muy amplia, ya que nos proporciona herramientas de análisis dentro de la zona seleccionada, principalmente para el diseño de obras costeras, diseño de monoboyas, procesos de difusión y sistemas de alarma contra huracanes, entre otras.

## II.- AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en Mazatlán, Sin., México, cuyas coordenadas son 23°12' N y 106°25' W, en la costa occidental mexicana (fig. 3).

La zona del estudio de refracción se localiza desde Punta Camarón hasta el Crestón. En la fig. 3 se muestra la ubicación de Mazatlán, y en la fig. 20, se muestra la zona de estudio de Rdo. En esta última figura se han incluido nombres de sitios con el fin de poder hacer referencia a ellos.

En el estudio realizado por la Secretaría de Marina (1974), se establece que el clima de Mazatlán es tropical marítimo, con una temporada de lluvias que se extiende de junio a septiembre y que presenta una temperatura media anual de 28°C.

La época ciclónica se registra de julio a octubre, prevaleciendo durante el invierno vientos del noroeste denominados "collas", y vientos variables. Durante el verano soplan vientos fuertes de corta duración del sur y sureste.

Debido a que el Huracán Olivia entró a tierra a cierta distancia al sureste de Mazatlán, el cálculo de la Sena, al igual que el de la ola significativa máxima, se hace para la localidad frente a Las Cabras, Sin., localizada al SW de Escuinapa de Hidalgo y a aproximadamente 74 Km. (40 m.n.) al sureste de Mazatlán. (figs. 32 y 36).

## III.- METODOS.

Para la preparación de este estudio de Rdo se optó por el método de ortogonales como el más adecuado, ya que se contó con una computadora y es un método rápido. Los otros, el gráfico llamado el método de frentes de ola es muy lento y no es aconsejable para batimetrías no suaves u homogéneas. El método de refracción por espectro requiere que se tenga un espectro de oleaje (amplitudes y fases como una función de la frecuencia) para la región y época de interés, y funciona para un determinado sitio de estudio y no para una región.

Las consideraciones del método de ortogonales son las siguientes:

- a).- La energía de las olas entre ortogonales permanece constante.
- b).- La dirección de avance de las olas es en dirección de las ortogonales.
- c).- La velocidad de una ola de un período dado depende sólo de la profundidad a la que se encuentra.
- d).- Los cambios en la topografía del fondo son graduales.
- e).- Las olas son suaves (no picudas), de período constante, de pequeña amplitud y monocromáticas.
- f).- El efecto de corrientes, vientos, difracción y reflexión por playas o estructuras es considerado despreciable.
- g).- El análisis de refracción esta basado en la Ley de Snell y en la Teoría Lineal. Newmann y Pierson (1966) hacen el desarrollo matemático de la Teoría Lineal de Olas.

El programa que se utilizó (Worthington y Herbich, 1970) calcula las coordenadas de avance de ortogonales sobre una malla (cuadrícula) de datos. De este programa únicamente se utilizó la parte de refracción del oleaje, la otra, la de difracción fué eliminada. En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del programa.

El programa de refracción de oleaje requiere información de datos de profundidad de una malla de la región que se estudia. Sin embargo, con el fin de cubrir un amplio rango de períodos de ola, y tener detalles a pequeña escala, se hizo necesario utilizar dos mallas (una gran de exterior y otra chica interior). A continuación se describen las ca racterísticas de cada una de ellas (ver fig. 3).

La malla grande es de una escala de 1:250 000; su plano base es del Ejército Mexicano con una escala 1:500 000 (D.C.M., 1958). La cuadrícula es de 50 x 28 cm., esto es, cubre una área desde Punta Piaxtla hasta Río Baluarte (aprox. 125 km.), y 70 m. hacia mar adentro. Estas dimensiones se asignaron con el fin de alcanzar la isóbata mayor de los 200 m. (para oleaje de 16 seg., la  $L_0/2 = 200$  m.). En la figura 5 se muestra su colocación con respecto a la costa.

Los vértices de la malla o cuadrícula tienen una separación de 1 cm. (2500 m. en tamaño real). La numeración de los vértices corresponde al formato (i, j), donde i es el renglón y j es la columna. El origen (1,1) está al extremo SSW de Mazatlán, los renglones son paralelos a la costa (i = 1 el más alejado de la costa e i = 28 el que está sobre la costa), las columnas son perpendiculares a la costa (j = 1 la que está frente a la boca del Río Baluarte y j = 50 la que está frente a Punta Piaxtla).

En la figura 3 se muestra parte de la cuadrícula que forma la malla, los números a la derecha y en la parte inferior representan el número de renglón y columna respectivamente. En las proximidades de Mazatlán, donde se muestran líneas gruesas, se representa la malla chica.

La malla chica es interior a la malla grande, su escala es 1:12500 y su plano de referencia es el SM 615 (Secretaría de Marina, 1977). Esta malla chica está situada con respecto a la grande en las siguien-

tes coordenadas: observando de Mazatlán hacia el mar, el límite superior de la malla chica es el renglón 23 de la malla grande, el límite inferior es el renglón 26, el límite izquierdo es la columna 23, y el límite derecho es la columna 28.75.

El espaciamiento entre vértices en la malla chica es de 1 cm. (125 m en la escala real), y de 62 x 116 renglones por columna.

Es importante señalar que la idea de tener dos mallas, una exterior y una interior, es alimentar con los resultados de la grande la pequeña, logrando así describir en las proximidades de Mazatlán la dirección que toma el oleaje generado a distancia.

La realización del presente trabajo se hizo con los planos a las escalas antes mencionadas, sin embargo, por fines prácticos, la presentación de resultados se hace con planos a otra escala. A saber, la malla grande se presenta en un plano 1:500 000, y la malla chica en uno 1:72 500.

La alimentación del programa consiste de los datos de malla (profundidades) y de las características del oleaje que incide en la malla (período y dirección), además de un delta-t. El período es asignado y arbitrario y las direcciones más frecuentes se basan en las tablas de "Sea and Swell" (US Oceanographic Office, 1974). La forma en que el programa recibe las direcciones es como se indica en la fig. 5.

El oleaje que se utilizó fué el del WNW, que es el de mayor frecuencia anual (frecuencia del NW más frecuencia del W=73% para swell, para sea 52%), el del W (20% para swell y 9% para sea), el del SW (1% para swell y 1% para sea), y el del S (frecuencia anual menor del 5% para swell y 1% para sea), que es el de mayor energía. Este último es causado por el paso de huracanes, los cuales, según Jarrel et al (1975), se mueven desde el Pacífico Tropical Oriental hacia el oeste

y norte en la temporada desde medio mayo hasta octubre.

Otra fuente de información de oleaje fué el USNaval Weather Service Comand (1981) que publica el Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO). De acuerdo con éste la frecuencia anual de vientos por dirección es la siguiente:

W(24.1%) > NW(22%) > N(18.9%) > SW(8.7%) > S(7.6%) > SE(7%)  
> NE(5%) > E(4.8%)

y en las Tablas 3 y 4 se muestra la frecuencia de ocurrencia (%) de alturas de ola (m) por mes para la región de Mazatlán, Sin., y la frecuencia de ocurrencia (%) de altura de ola (m) vs dirección del viento, respectivamente, igual, para la región de Mazatlán.

Como se ve, la frecuencia anual de vientos vs dirección es muy similar aquella del Atlas of Sea and Swell Charts (US Oceanographic Office, 1974). También se aprecia de las tablas del SSMO que las mayores alturas de ola son durante los meses de huracanes (agosto y octubre) y para febrero, y que provienen del S.

El delta-t que se usó fué, en la malla grande, el equivalente en tiempo al recorrido de media unidad de malla, o sea 1250m., en base a la celeridad en aguas profundas. En la tabla 5 se muestran los deltas de cada corrida y las corridas realizadas.

Para los oleajes del oeste, suroeste y sur, la malla primero se usó como se acaba de describir, para el oleaje del WNW la alimentación al programa se hizo girando la malla 90° (contra reloj), de tal modo que la malla fué de 28 x 50 (28 columnas por 50 renglones). Además, con el fin de lograr mayor tiempo de refracción de las ortogonales y poder alimentar la malla chica, se hizo un agregado de 15 columnas en la parte superior. En la figura 5 se muestra la disposición de las columnas agregadas.

Para alimentar la malla chica se seleccionaban, con una subruti-

na, los datos que incidan inmediatamente antes, en y después de ingresar las coordenadas de malla grande en la chica. Con estos datos, asumiendo linealidad entre ortogonales en la malla grande, se generaron los datos para inicializar los problemas en la malla chica. Conviene recordar que cada unidad de malla grande equivale a 20 unidades de malla chica. En la Tabla 6 se indican los promedios de los ángulos de entrada y de los coeficientes de altura de entrada a la malla chica. Esta tabla nos indica la cantidad que se ha refractado la ola, desde su origen en la malla grande hasta el momento en que ingresa a la malla chica. Si bien es notorio en algunos casos de convergencia de ortogonales en la malla chica, el valor de  $K_a$  (coeficiente de altura) es bajo debido a que la ola al ingresar a la malla chica ya va refractada y con un coeficiente de altura dado.

El procesado se realizó con una computadora Burroughs 7800 propiedad de la UNAM.

Para estimar la altura de las olas se utilizó un dispositivo visual del mismo tipo que el utilizado por Krumbain (1947) en estudios costeros realizados en California, EUA. Este dispositivo consiste de una madera con una ranura, y sobre la ranura una mica graduada, además, a una distancia conocida de la mica graduada se colocó una mira (ver figs. 6 y 7). Con este dispositivo las alturas de ola se medían al momento de romper la ola sobre la playa. La conversión de las lecturas obtenidas de la mica del dispositivo para obtener las alturas de ola, se calcularon aplicando la Ley de los Cosenos.

El procedimiento para el cálculo de altura de ola a partir de los datos obtenidos de la mica, es el siguiente:

De acuerdo con la Ley de los Cosenos

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \omega$$

$$\text{Si } c = b = 1 \text{ m.}$$

entonces  $a^2 = 2 - 2 \cos \omega$ , y por lo tanto  $\cos \omega = (2 - a^2)/2$ .

Una vez conocido el coseno  $\omega$ , que es el coseno del ángulo en la mira, se calcula ahora la altura de la ola ya que se conoce la distancia  $b = c = x$ , que es la distancia a la rompiente, o, en caso, al boyarín (ver más adelante):  $a = 2x^2 - 2x \cos \omega$ .

Entonces "a" nos dará la altura de ola obtenida con el dispositivo visual ideado por Krumbein (1947).

En las estaciones donde se podía colocar un boyarín con un grampín a la altura de la zona de rompiente, se colocó, éste con el fin de poder medir la distancia a la zona de rompiente usando un telémetro, y además para facilitar la medida del período de ola. Las mediciones de altura de ola y período no son simultáneas, pero sí seguidas.

Tanto para el cálculo de la Sena como para el del oleaje máximo, se utilizó al Huracán Olivia, del cual, en la fig. 32 se muestra su trayectoria desde su formación como depresión tropical, luego tormenta tropical, luego huracán y hasta el punto donde perdió identidad, en la Sierra de Durango. En la Tabla 7 se muestran las coordenadas de su trayectoria, así como sus principales características meteorológicas.

El método para el cálculo de la Sena es el método de nomogramas descrito en WMO - No. 500 (1978) y en USA-CERC (1977); (ver Anexo II).

Este método de nomogramas para el cálculo de la Sena está diseñado para usarse en la Costa Oriental y del Golfo de México de los EUA. Por lo cual se hicieron en el segundo nomograma adaptaciones para el cálculo del coeficiente de somerización basado en el perfil



de la costa, y más específicamente en la distancia a la cual se encuentra la isóbata de 18 m., y así poder usarlo en la región de Sinaloa.

La adaptación consistió en hacer una gráfica del factor de somerización de la Costa Este y Golfo de Mexico de los EUA vs la distancia a la cual se encontraba la isóbata de 18 m. (ver USA-CERC, 1977). En la Tabla 8 se muestran los valores de  $F_s$ , factor de somerización para el cálculo de la Sena, así como la distancia (en millas náuticas) a la cual se encontraba a partir de la costa la isóbata de 18 metros (10 brazas). La línea que resulto de la gráfica se ajustó por mínimos cuadrados y se obtuvo su ecuación con un coeficiente de correlación de 0.89. Con esta gráfica (fig. 32) se puede calcular el factor de somerización para aplicarse en otras costas distintas a las que le dieron origen.

En la Tabla 11 se muestra la secuencia de cálculos para llegar al Sena máximo. En las figuras 33, 34 y 35 se muestran los nomogramas respectivos, primero el nomograma utilizado para el cálculo del surgimiento inicial en función de  $\Delta P$  y  $R$ , después la gráfica de adaptación del factor de somerización para poderlo usar en Mazatlán y el último nomograma es el utilizado para obtener la corrección por velocidad y por ángulo de incidencia a la costa.

Debido a la forma del huracán, y su morfología interior, la zona de vientos máximos siempre se encuentra a la derecha de la dirección de avance de éste, por lo tanto, la Sena máxima ocurre a una distancia  $R$  del centro del huracán, a la derecha de su punto donde hace entrada a tierra. En la figura 36 se muestra la trayectoria del huracán, la distancia  $R$  a la derecha de la trayectoria, y el sitio para donde se calculó la Sena Máxima.

Este método supone que no hay inundación de zonas costera y es únicamente para ser usado en costas abiertas. El comportamiento en

bahías cerradas, lagunas costeras o esteros puede ser un tanto diferente del de una costa expuesta, y existen otros métodos aplicables a dichas morfologías.

Los resultados obtenidos de la Sena máxima son sumados a la marea astronómica al momento en que el huracán entra a tierra, y esta sobreelevación es utilizada en el cálculo del oleaje de tormenta y su aproximación a la costa. En la Tabla 2 se dan los valores de la marea astronómica de los días 24 y 25 de octubre de 1975.

El resultado que se obtiene es una Sena pico o máxima, o sea la máxima elevación del nivel del agua en un punto dado. A ambos lados del sitio donde ocurre la Sena máxima, también habrá elevación del agua pero en menor escala. La envolvente, o sea el perfil a lo largo de la costa, de la elevación del nivel desde un punto no afectado hasta el otro, pasando por la Sena máxima, puede afectar una longitud de costa de 200 km. En la figura 37 se muestra el perfil de la envolvente provocada por el Huracán Camila (1969) en las costas del Golfo de México. La forma de la envolvente puede variar de acuerdo con la batimetría, la forma de la costa, el ángulo de entrada a tierra del huracán etc.

El método para el cálculo del oleaje generado por huracanes y su aproximación a la costa está descrito en el USA-CERC (1977). Está basado en el método SMB (descrito en la misma fuente) y es un método empírico.

El método desarrollado está resuelto para fetch's cortos y velocidades de viento altas ( $((gF/U^2) \times 10^4)$ ). (Bretschneider, 1959).

La técnica de predicción se inicia con un estimado de la altura y periodo significantes en el punto de vientos máximos, para lo cual se usan las siguientes ecuaciones:

$$H_0 = 5.03 \exp(RAP/6271.6) \left[ 1 + \frac{0.152}{U_R} V_f \right] \quad \dots 2$$

$$T_s = 8.6 \exp(RAP/12543.2) \left[ 1 + \frac{0.076}{U_R} V_f \right] \quad \dots 3$$

donde :

$H_0$  = Altura de ola significativa en aguas profundas (en metros).

$T_s$  = El período correspondiente a la ola significativa (en segundos).

$R$  = Radio de vientos máximos (en kilómetros).

$\Delta P$  =  $P_n - P_0$ , donde  $P_n$  es la presión normal de 1013.25 milibares (mb.) y  $P_0$  es la presión central del huracán.

$V_f$  = La velocidad de desplazamiento del huracán (en kilómetros por hora; kph).

$U_R$  = Los vientos máximos sostenidos (en kph) calculados para 10 m. sobre el nivel medio del mar en un radio  $R$ , donde:

$U_R = 0.467 U_{\max}$  para un huracán estacionario y,

$U_R = 0.467 U_{\max} + 0.5V_f$  para huracanes en movimiento.

$U_{\max}$  = Máxima velocidad del viento gradiente a 10 m. sobre la superficie del mar (en kph).

$U_{\max} = 1.607 (12.55(P_n - P_0))^{1/2} - R(0.310)f \quad \dots 4$

$f$  = parámetro de coriolis =  $2\omega \sin \theta$ , donde:

$\omega$  = velocidad angular de la Tierra =  $2 \pi / 24$  radianes por hora. Algunos valores de  $f$  son:

Latitud  $\theta$     20°    22.5°    25°    30°    35°

$f$  (rad/hr.)    0.179    0.200    0.221    0.262    0.300

= Un coeficiente que depende de la velocidad hacia adelante del huracán y el incremento de la longitud de fetch efectivo porque el huracán se está moviendo. Se sugiere

que para huracanes moviéndose lentamente = 1

El radio R se calculó utilizando la expresión de Springal (1975), para determinar el radio medio a partir el dato de la depresión del ojo (ecuación 1).

La  $V_f$  se calculó utilizando las coordenadas de entrada a tierra del huracán y la coordenada anterior. El tiempo de recorrido entre esas dos coordenadas fué de 6 hrs., y ésta velocidad calculada coincide con la información proporcionada por la estación meteorológica de Mazatlán (Acevedo, 1975).

El factor  $\alpha$  se utiliza para compensar el ligero incremento en la longitud de fetch mínimo debido al movimiento de la tormenta. Este factor vale menos de 1.0 cuando el huracán pasa la velocidad crítica, aquella en que  $V_f$  es mayor que la velocidad de grupo de las olas generadas (Bretschneider, 1959).

$V_f$  representa la velocidad hacia adelante sobre las últimas 50 ó 100 millas antes de que el huracán entre a tierra (Bretschneider, 1964).

Utilizando la ecuación 4 se calcularon los vientos máximos y se calcularon los vientos máximos sostenidos (ver resultados). Al comparar los datos calculados de aquellos medidos por la estación meteorológica de Mazatlán, se encontró que eran menores los calculados que los medidos, por lo que se decidió utilizar los vientos medidos. Los vientos máximos sostenidos ( $U_R$ ) que se registraron fueron de 212 kph y rachas de 250 kph (Acevedo, 1975).

Una vez obtenida la altura de ola significativa en aguas profundas,  $H_0$ , con el uso de la figura 38 se obtiene la distribución de altura del oleaje en las proximidades del huracán.

El período de ola correspondiente puede ser aproximado usando :

$$T_s = 3.86 \sqrt{H_0}$$

donde  $H_0$  está en metros, fórmula derivada de datos empíricos que muestran que la pendiente de la ola  $H/T^2$  será aproximadamente de 0.0671 (aprox. 1/23 de esbeltez). El cociente  $H/T^2 = 0.067$  puede ser interpretado como una esbeltez aparente de 1 a 23, la cual concuerda con la esbeltez de 1 a 20 que ha sido usada para diseño por muchos años. Sin embargo, en lo que a ola máxima concierne, es posible obtener una esbeltez mayor (Bretschneider, 1959).

Refiriéndose a la figura 38, la  $H_0$  corresponde a la altura de ola significativa en  $r/R = 1$ ; el punto de vientos máximos localizado a la derecha del huracán (viendo hacia la dirección de avance). En ese punto, la altura de ola es aproximadamente  $H_0$  y el período de ola es  $T_0$ . En  $r/R = 1$  a la izquierda del centro del huracán, se ve que el coeficiente para la ola significativa es aproximadamente 0.62, por lo tanto, la  $H_{02}$  será igual a  $H_{02} = H_0(0.62)$  metros. Esta ola se está moviendo en dirección opuesta a aquella  $H_0$  a la derecha del huracán. El período para la ola significativa  $H_{02}$  será:  $T_{s2} = 3.86 / H_{02}$  segundos.

La ola máxima más probable se asume que depende del número de olas consideradas aplicables a la ola significativa  $H_0$ . Este número  $N$  depende de la longitud de la sección del huracán para el cual un estado casi-estacionario existe y de la velocidad hacia adelante del huracán,  $V_f$ . Según USA-CERC (1977), las máximas condiciones de oleaje ocurren sobre una distancia igual al radio de viento máximo,  $R$ . El tiempo que le toma al radio de viento máximo pasar por un punto particular es:

$$V = \frac{X}{t} \quad \therefore \quad t = \frac{X}{V} = \frac{R}{V_f}$$

El número de olas en ese punto serán:

$$N = \frac{t}{T_s}$$

donde  $T_s$  es el período significativo.

La ola máxima más probable puede ser obtenida usando (Longuet-Higgins, 1952):

$$H_n = 0.707 H_0 \sqrt{\ln(N/n)}$$

La ola máxima más probable se obtiene haciendo  $n=1$ , para lo cual tendremos:

$$H_1 = 0.707 \sqrt{H_0 \ln(N/1)} \quad \dots 6$$

Para obtener la segunda ola más alta se usa  $n=2$ , y para la tercera  $n=3$ .

Para determinar los cambios de las olas en aguas profundas conforme ellas cruzan la plataforma continental se utilizará una integración numérica y se construirá la tabla 12. En esta se consideran los efectos combinados de fricción de fondo, la acción continua del viento y la velocidad de avance del huracán. Esta integración numérica requiere el uso del coeficiente de somerización (Anexo V) y de la figura 39. Otro requerimiento es el cálculo de la longitud del fetch efectivo, el cual se obtiene usando (Bretschneider, 1957):

$$F_e = (149 H_0 / U_R)^2$$

donde:

$F_e$  = El fetch efectivo (en kilómetros).

$H_0$  = La altura de ola significativa (en metros).

$U_R$  = Los vientos máximos sostenidos (kph).

Para el resto del problema se utilizará:

$$H_0 = (U_R/149) F_e' + AF \quad \dots 7.a$$

junto con la ecuación:

$$T_0 = 3.86 \sqrt{H_0} \quad \dots 5$$

$F_e'$  se definirá más adelante.

Este método de integración numérica es más fácil y más preciso que el método gráfico utilizando curvas de pronóstico basadas en el método SMB (USACERC, 1977).

El procedimiento para el cálculo de las olas sobre la plataforma continental se hará utilizando el perfil del fondo frente a Las Cabras, Sin., que es el sitio donde los vientos máximos entraron (ver figs. 36 y 40).

A continuación se hace una descripción del contenido de cada una de las columnas de la tabla que se utilizará para evaluar la altura de la ola que se presentó en la costa a causa del Huracán Olivia (1975). (ver Tabla 12).

Columna 1.-  $X$  es la distancia en km. medida desde el mar (borde de la plataforma continental), hacia una profundidad de 6m frente a Las Cabras, Sin. Los incrementos  $\Delta X$  que se usan son de 5 km. (fig.36).

Columna 2.-  $dx$  es la profundidad en metros referida al NBM en el fin de cada sección del lado de la costa. Ahora, para fines de cálculo de la ola de tormenta, se considera que únicamente existe la elevación de la Sena desde una distancia donde las olas no tienen influencia de la profundidad (por ejemplo 200 m.).

Columna 3.-  $d_1$  es la profundidad al principio de cada sección del lado mar. Estas profundidades son bajo el nivel de bajamar medio (NBM), más 0.76 m. de la marea astronómica (Tabla 2), más la Sena (ver fig. 40;  $NBM-NBMI=0.15$  m.).

Columna 4.- es la profundidad  $d_2$  al final de cada sección del lado de la costa más la altura de marea (ref. NBM), mas la Sena.

Columna 5.-  $d_T$  es el promedio de las columnas 3 y 4.

Columna 6.- Es el fetch efectivo (km.) obtenido para el primer renglón directamente de la ecuación 7. Para los renglones sub-

secuentes  $Fe = Fe' + \Delta F \leq 42$  km., donde  $Fe'$  está dado en la columna 13 una línea (renglón) arriba de cada caso, y  $\Delta F$  es de 5 km.

Columna 7.- Es la altura de ola significativa en aguas profundas,  $H_o$ , y es obtenida de la ecuación 7 :

$$H_o = (U_R/149) Fe$$

y  $Fe$  es obtenido de la columna 6.

Columna 8.- Es el período de ola significativa para agua profunda,  $T_o$ , y es obtenido de la ecuación 5:

$$T_o = 3.86 \sqrt{H_o}$$

donde  $H_o$  se obtiene de la columna 7.

Columna 9.-  $d_T/L_o$  la profundidad relativa.

$$\frac{d_T}{L_o} = \frac{2\pi \bar{d}_T}{g T_o^2} = \frac{\bar{d}_T}{1.56T^2}$$

Columna 10.- Valor para obtener el factor por fricción (fig. 39)

$$\frac{f_f H_o \Delta x}{d^2} = \frac{F_f H_o \Delta x}{(\bar{d}_T)^2}$$

donde  $f_f$ , fricción del fondo, se asume constante con un valor de 0.01 para fondos arenosos suaves;  $\Delta x = 5000$  m.,  $\bar{d}_T$  es el promedio de la profundidad del incremento  $\Delta x$ , y  $H_o$  es de la columna 7.

El factor de fricción de 0.01 involucra otras consideraciones porque la teoría está basada en la Teoría Lineal de Ondas, la cual no es representativa de olas altas en un mar complejo bajo condiciones de vientos fuertes. Probablemente sería preferible establecer que el factor de fricción de 0.01 es en realidad un factor de calibración, el cual, cuando se usa en los cálculos de olas en aguas someras, resultará en verificación con datos observados (Bretschneider, 1959).

Columna 11.- Es el factor de fricción,  $K_f$ , y es obtenido de la figura 39, donde  $K_f$  es función de los parámetros de entrada dados por las columnas 9 y 10.



Columna 12.- Es la altura de ola equivalente de aguas profundas,  $H_0^!$ , y es obtenida del producto de las columnas 7 y 11:

$$H_0^! = H_0 \times K_f.$$

Columna 13.- Es la longitud, en km., del fetch efectivo equivalente, y es obtenido de la ecuación siguiente:

$$F_e^! = (149 H_0^! / U_R)^2 \quad \dots 8$$

donde  $U_R$  es la velocidad, en kph, de los vientos máximos sostenidos del huracán en movimiento.

Columna 14.- Es el período de agua profunda equivalente,  $T_0^!$ , correspondiente a la  $H_0^!$  de la columna 12, y se obtiene usando la ecuación 5:

$$T_0^! = 3.86 \sqrt{H_0^!} \quad \dots 5$$

Columna 15.- Parámetro para obtener el coeficiente de somerización,  $K_s$ :

$$\frac{d_2}{L_0^!} = \frac{2 \pi d_2}{g(T_0^!)^2}$$

donde  $d_2$  es la profundidad del lado de la costa de cada sección  $\Delta x$ .

Columna 16.- Es el coeficiente de somerización,  $K_s$ , relacionado a los valores del parámetro  $d_2/L_0^!$  (columna 15), obtenido de la tabla de funciones de  $d/L_0$  (Anexo V), donde  $H/H' = K_s$ .

Columna 17.- Es  $H = H_0^! \times K_s$  (es el producto de las columnas 12 y 16).

Columna 18.- Cálculo del parámetro usado en la ecuación 6.

$$N = \frac{t}{T_0^!} \quad \text{donde } t = \frac{R}{V_f}$$

Columna 19.- Es la  $H_{max}$  (altura de ola máxima probable), obtenida de la ecuación 6

$$H_{max} = 0.707 H_0^! \sqrt{\ln N} \quad \dots 6$$

donde  $H_0^!$  es de la columna 12.

Después de que una línea (renglón) ha sido completado, el siguiente renglón se inicia usando  $Fe = Fe' + AF \leq 42$  km.. Donde  $Fe'$  se obtiene de la columna 13 del renglón recién terminado.

En la Tabla 12 se muestra el procedimiento completo.

## IV.- RESULTADOS

En las figuras 8 a 19 se muestra el comportamiento de las ortogonales en la malla grande. Las figuras 8, 9 y 10 muestran oleaje de periodo de 16, 12 y 8 seg. proveniente del WNW; las figuras 11, 12 y 13 oleaje de 16, 12 y 8 seg. del W; las figuras 14, 15 y 16 oleaje de 16, 12 y 8 seg. del SW; y las figuras 17, 18 y 19, oleaje con periodos de 16, 12 y 8 seg. proveniente del S. En las figuras 20 a 31 se muestra el mismo oleaje de la malla grande, pero ahora en la malla chica. En las figuras 20, 21 y 22, oleaje del WNW de 16, 12 y 8 seg.. En las figuras 23, 24 y 25, oleaje del W de 16, 12 y 8 seg.. En las figuras 26, 27 y 28, oleaje del SW de 16, 12 y 8 seg.. Y por último, en las figuras 29, 30 y 31, oleaje del S de periodos de 16, 12 y 8 seg..

La Tabla 9 muestra los valores promedios del coeficiente de altura frente a las posiciones indicadas en las figuras 20 a 31, para oleaje sobre la isóbata de 5 m. Los coeficientes de altura que se muestran en esta última tabla son promedios de 4 a 6 ortogonales.

En el Anexo IV se muestran los resultados de las mediciones de altura de ola realizadas, así como los periodos de ola medidos.

En la Tabla 10 se muestran las  $H_{RMS}$ ,  $T$  y  $Ka$ 's para cada sitio donde se hicieron observaciones de olas. En esta tabla, el coeficiente de altura se obtuvo a partir de la figura 41, donde se muestra el comportamiento de los  $Ka$ 's conforme varía el periodo en cada lugar de referencia. Se asume linealidad, y el oleaje que se presentó durante los días de medición fué del WNW (aproximado visualmente con brújula).

En la figura 42 se muestra la gráfica de  $H_{RMS}$  vs  $Ka$ . Por regresión lineal se calculó la recta de mejor ajuste así como el coefi-

ciente de correlación.

En la Tabla 7 se encuentran las características meteorológicas del Huracán Olivia, ahí mismo se indican las coordenadas de su trayectoria.

En la Tabla 11 se muestran los resultados del cálculo de la sobre-elevación pico del nivel del agua (ó Sena máxima). En la fig 40 se muestra la Sena causada por el huracán junto con la marea astronómica a la hora que el huracán Olivia entró a tierra. Estos datos se utilizaron para determinar las profundidades en el modelo de aproximación del oleaje del huracán hacia la costa.

En la Tabla 2 se muestra la marea astronómica durante la entrada del huracán a tierra.

A continuación se muestran los cálculos de  $H_o$ ,  $T_o$  y del primer renglón de la Tabla 12 a partir de los datos del Huracán Olivia (Tabla 7).

Para el cálculo de  $H_o$  se usa la ecuación 2:

$$H_o = 5.03 \exp(RAP/6271.6) \left[ 1 + \frac{0.152 \cdot Vf}{U_R} \right]$$

$$H_o = 5.03 \exp(43.8(49.78)/6271.6) \left[ 1 + \frac{0.152(1)(27.97)}{212} \right]$$

$$H_o = 5.03 (1.42)(1.29)$$

$$\underline{H_o = 9.2 \text{ metros.}}$$

Para el cálculo del período significativo,  $T_o$ , se utiliza la ec. 3:

$$T_s = 8.6 \exp(RAP/12543.2) \left( 1 + \frac{0.076 \cdot Vf}{U_R} \right)$$

$$T_s = 8.6 \exp(43.8(49.78)/12543.2) \left( 1 + \frac{0.076(1)(27.97)}{212} \right)$$

$$T_s = 8.6 (1.19)(1.15)$$

$$\underline{T_s = 11.7 \text{ segundos.}}$$

Columna 6.- Para el cálculo del fetch efectivo se usa la ec. 7.

$$Fe = (149 H_o / U_R)^2 = (149(9.2)/212)^2$$

$$Fe = 41.8 \text{ km.}$$

Columna 7.-  $H_o$  obtenido de la ecuación 7.

$$H_o = (U_R/149)(Fe)^{1/2} = (212/149)\sqrt{41.8}$$

$$H_o = 9.2 \text{ m.}$$

Columna 8.-  $T_o$  obtenido a partir de la ecuación 5.

$$T_o = 3.86 \sqrt{H_o} = 3.86 \sqrt{9.2}$$

$$T_o = 11.7 \text{ seg.}$$

Columna 9.- Profundidad relativa.

$$\frac{d_T}{L_o} = \frac{2\pi d_T}{g T_o^2} = \frac{2\pi(625)}{9.8(11.7)^2}$$

$$\frac{d_T}{L_o} = 2.93$$

Columna 10.- parámetro para obtener el factor de decaimiento por fricción del fondo:

$$\frac{f_f H_o \Delta x}{d^2} = \frac{f_f H_o \Delta x}{(\bar{d}_T)^2} = \frac{0.01 (9.20) 5000}{(625)^2}$$

$$\frac{f_f H_o \Delta x}{d^2} = 1.18 \times 10^{-3}$$

Columna 11.- Del nomograma en la figura 39.

$$K_f = 1.0$$

Columna 12.- Producto de las columnas 7 y 11 =  $H_o'$

$$H_o' = 9.20 \times 1.0$$

$$H_o' = 9.2 \text{ m.}$$

Columna 13.- Calculo del fetch efectivo equivalente, obtenido de la ecuación 8.

$$Fe' = (149 H_o' / U_R)^2 = (149(9.20)/212)^2.$$

$$Fe' = 41.8 \text{ km.}$$

Columna 14.- Calculo del periodo equivalente,  $T_o'$ , obtenido a partir de la ecuación 5.

$$T_0' = 3.86 \quad H_0' = 3.86 \sqrt{9.2}$$

$$T_0' = 11.7 \text{ seg.}$$

Columna 15.- Cálculo de la profundidad relativa para obtener el coeficiente de somerización,  $K_s$ .

$$\frac{d_2}{L_0'} = \frac{2 \pi d_2}{g T_0'^2} = \frac{2 \pi 542}{9.8(11.7)^2}$$

$$\frac{d_2}{L_0'} = 2.54$$

Columna 16.- Coeficiente de somerización,  $K_s$ , obtenido de las tablas de funciones de  $d/L_0'$ , y se encuentra como  $H/H_0'$  (ver Anexo V).

$$K_s = 1.0$$

Columna 17.- Producto de las columnas 12 y 16,  $H_s$ .

$$H_s = H_0' \times K_s = 9.2 (1.0)$$

$$H_s = 9.2 \text{ m.}$$

Columna 18.- Obtención del valor de  $N$ .

$$N = t/T_0' \quad \text{donde } t = R/V_f = 43.8 / 27.97$$

$$t = 1.566 \text{ hr} \times 3600 \text{ seg/hr} = 5637 \text{ seg.}$$

$$\text{Por lo tanto: } N = 5637/11.7 = 481.8 \approx 482$$

$$N = 482$$

C Columna 19.- Se obtiene  $H_{\max}$  a partir de la ecuación 6.

$$H_{\max} = 0.707 H_s \sqrt{\ln N}; \text{ donde } H_s \text{ de la columna 17.}$$

$$H_{\max} = 0.707 (9.2) \sqrt{\ln 482}$$

$$H_{\max} = 16.2 \text{ m.}$$

El procedimiento para el cálculo de los siguientes renglones es similar. Las únicas diferencias son que ahora se usa  $F_e = F_e' + AF \leq 42$  km., y que  $H_0'$  y  $T_0'$  no se calculan de las ecuaciones 2 y 3, sino que de las ecuaciones 7 y 5 respectivamente.

En la Tabla 12 se muestran los resultados de aplicar el modelo de aproximación del oleaje de huracán hacia la costa sobre la pla-

taforma continental. Las columnas 14 , 17 y 19 muestran el período del oleaje, la altura significante y la ola máxima probable, respectivamente, para cada sección que se aproximaba la ola a la costa.

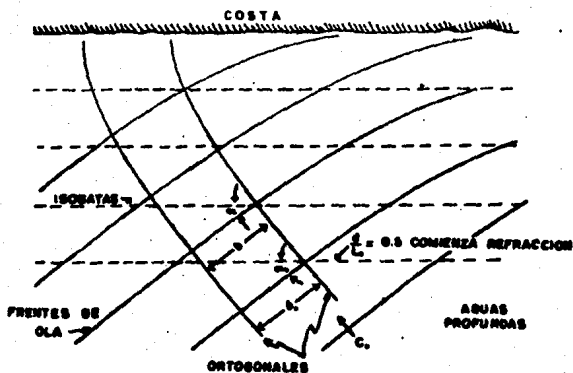


Fig. 1.- Esquema de definición de refracción de olas. Los frentes de ola de aguas profundas se asumen rectos y paralelos.

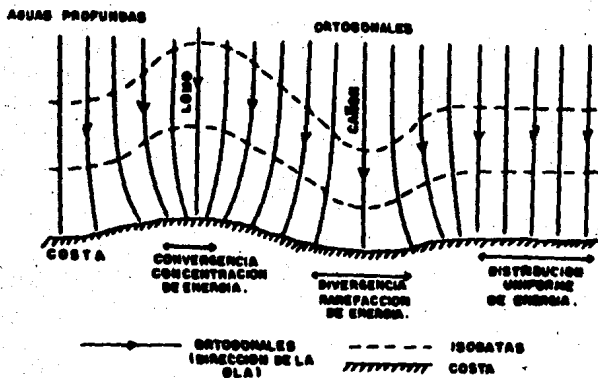


Fig. 2.- Refracción de olas por un cañón submarino. Las olas se mueven más rápido sobre el cañón que sobre ambos lados de este, resultando divergencia (olas bajas) sobre la boca. En el caso del lomo o cordillera, las olas se retrasan y sobre ambos lados las olas se mueven más rápido creando convergencia (olas altas sobre la cordillera).



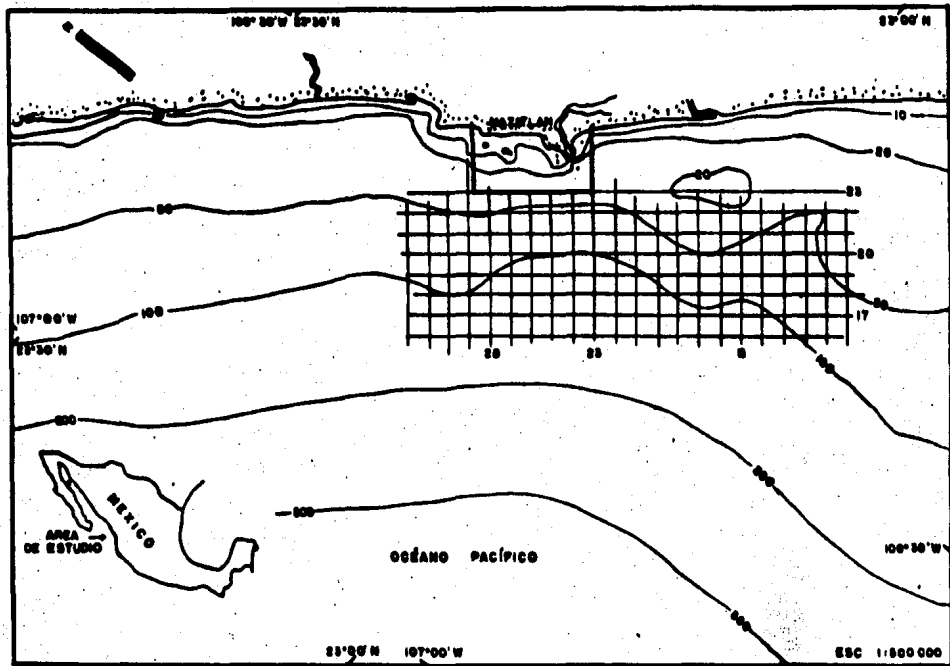


Fig. 3.- Ubicación de la área de estudio. La cuadrícula es de la malla grande y la malla chica se indica en el recuadro frente a Mazatlán (Ver texto).

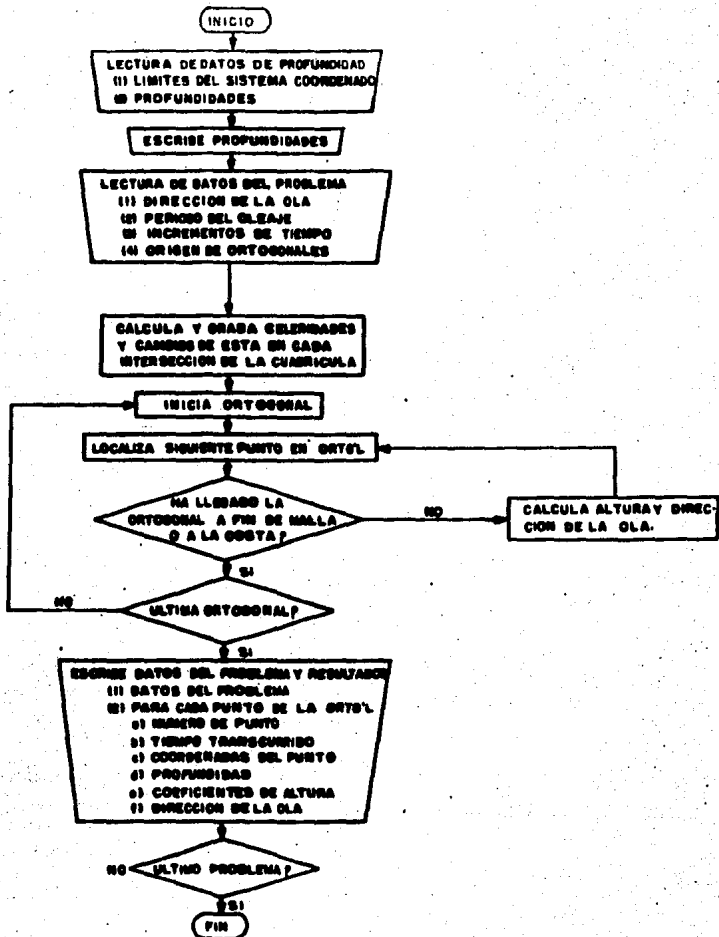


Fig. 4.- Diagrama de flujo del programa de refracción de oleaje.

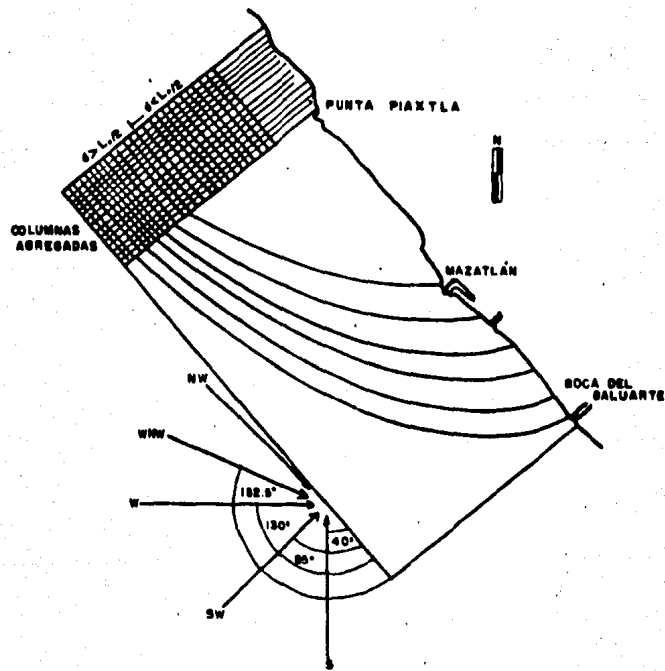


Fig. 5.- Angulos de entrada a la malla grande, en la parte superior se muestran las columnas añegadas para las corridas del WNW.

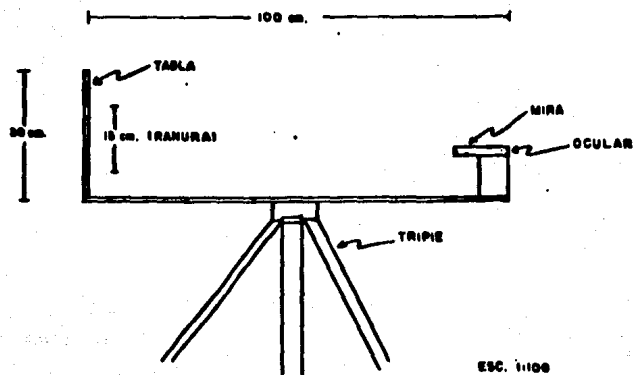


Fig. 6 .- Dispositivo utilizado para estimar la altura de las olas. Vista de perfil y dimensiones.

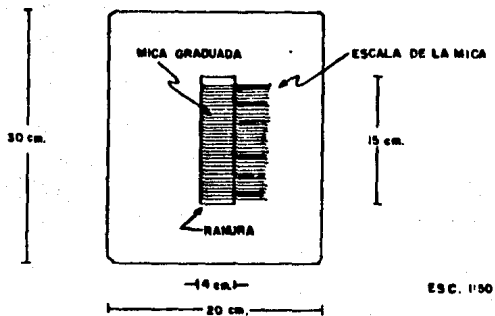


Fig 7.- Tabla con ranura utilizada para estimar la altura de las olas. Vista de frente y dimensiones.

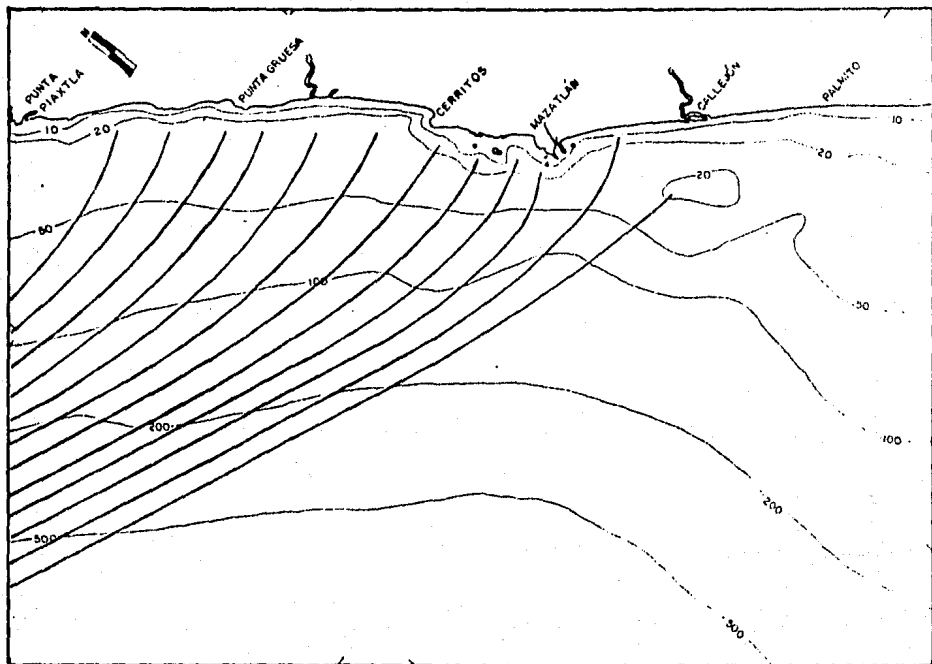


Fig. 8.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=16$  seg. del WNW ( $\Delta t = 50.10$  seg.)

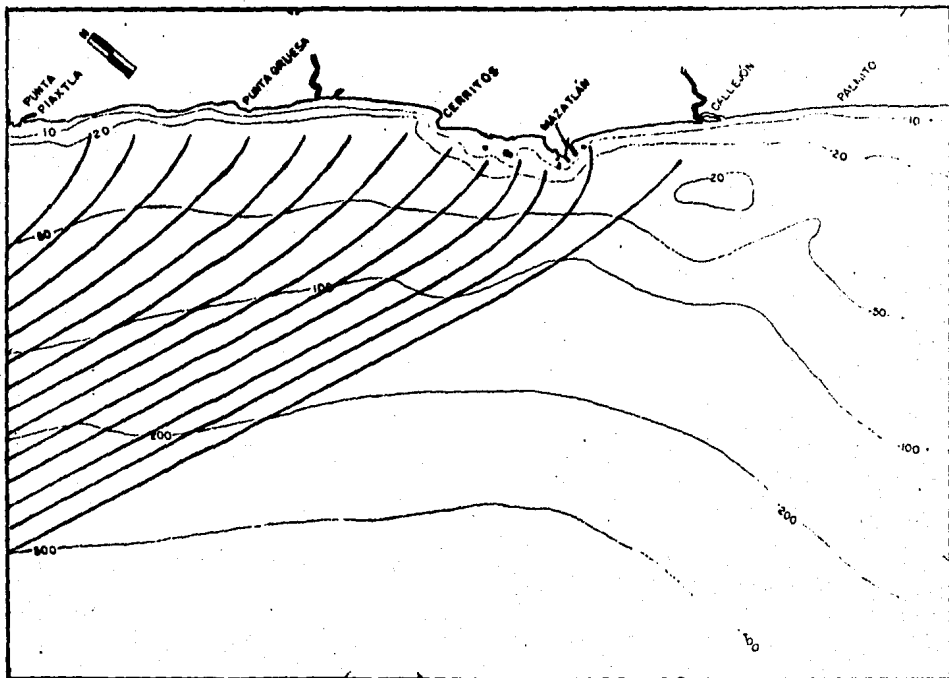


Fig. 9.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=12$  seg. del WNW ( $\Delta t=66.6$  seg.)

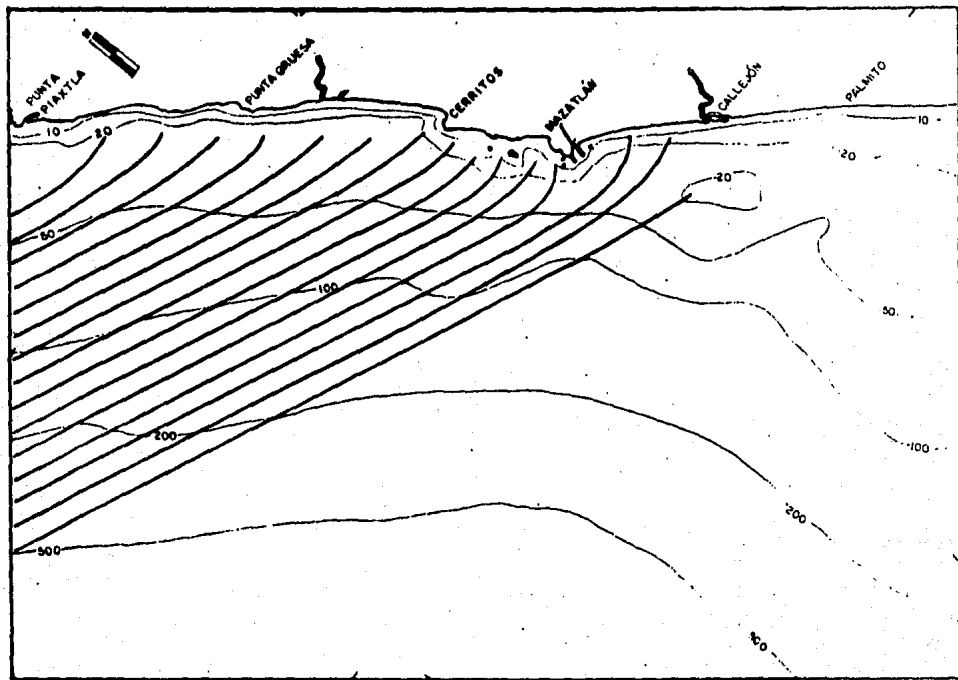


Fig. 10.- Refracción en la malla grande del oleaje de T=8 seg. del WNW (Delta-t=100.0 seg.)

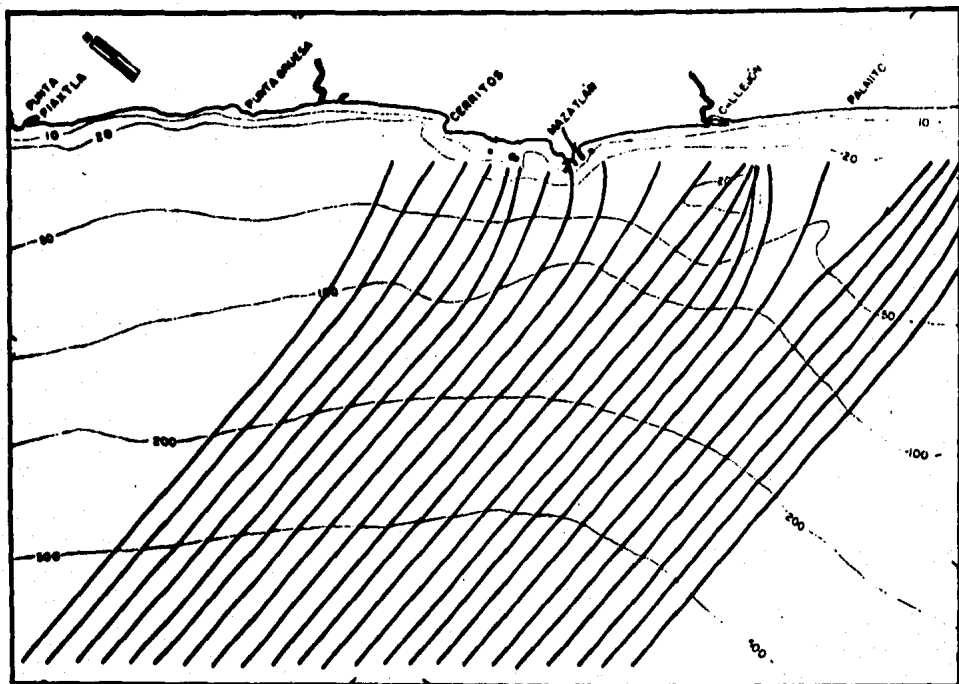


Fig. 11.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=16$  seg. del W ( $\Delta t=50.10$  seg.)



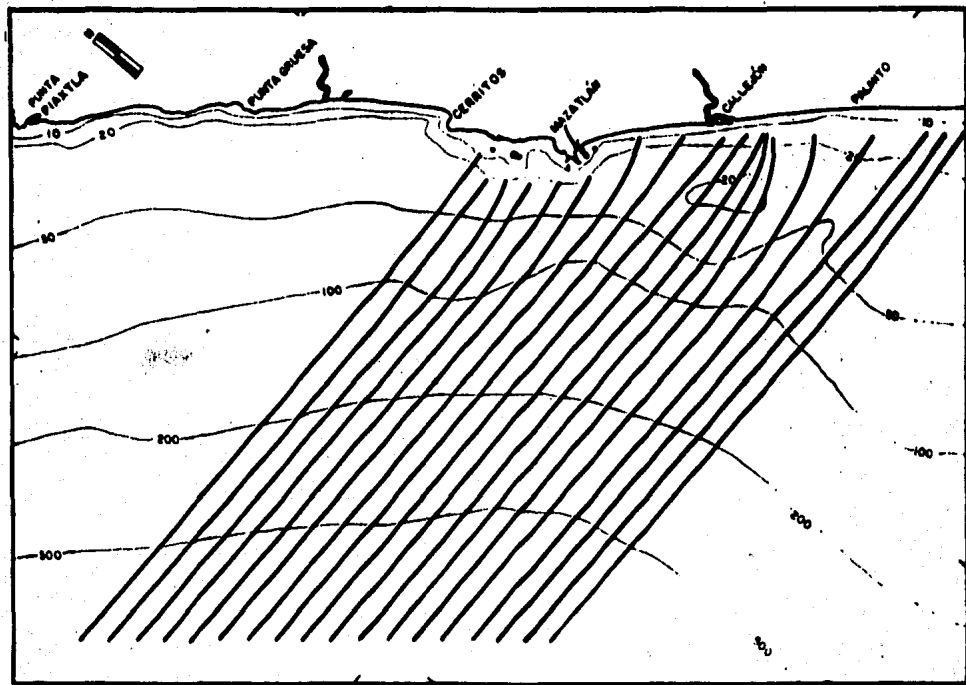


Fig. 12.- Refracción del oleaje en la malla grande  $T=12$  seg. del W ( $\Delta t=t=66.6$  seg.)

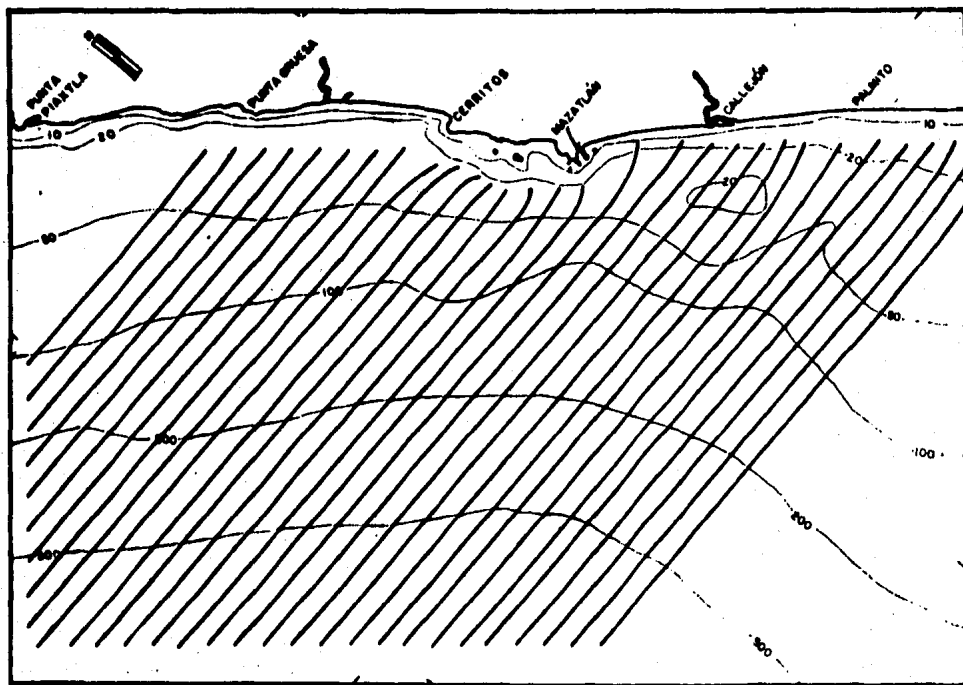


Fig. 13.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=8$  seg. del W ( $\Delta t=100.0$  seg.).

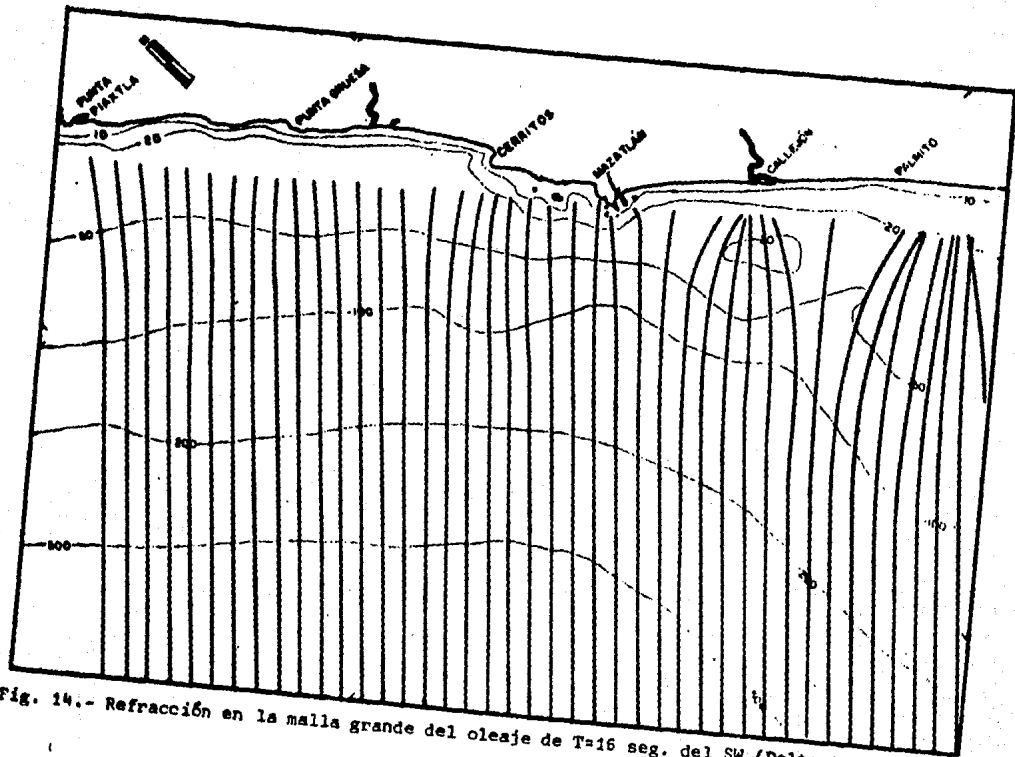


Fig. 14.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=16$  seg. del SW ( $\Delta t=50.1$  seg.).

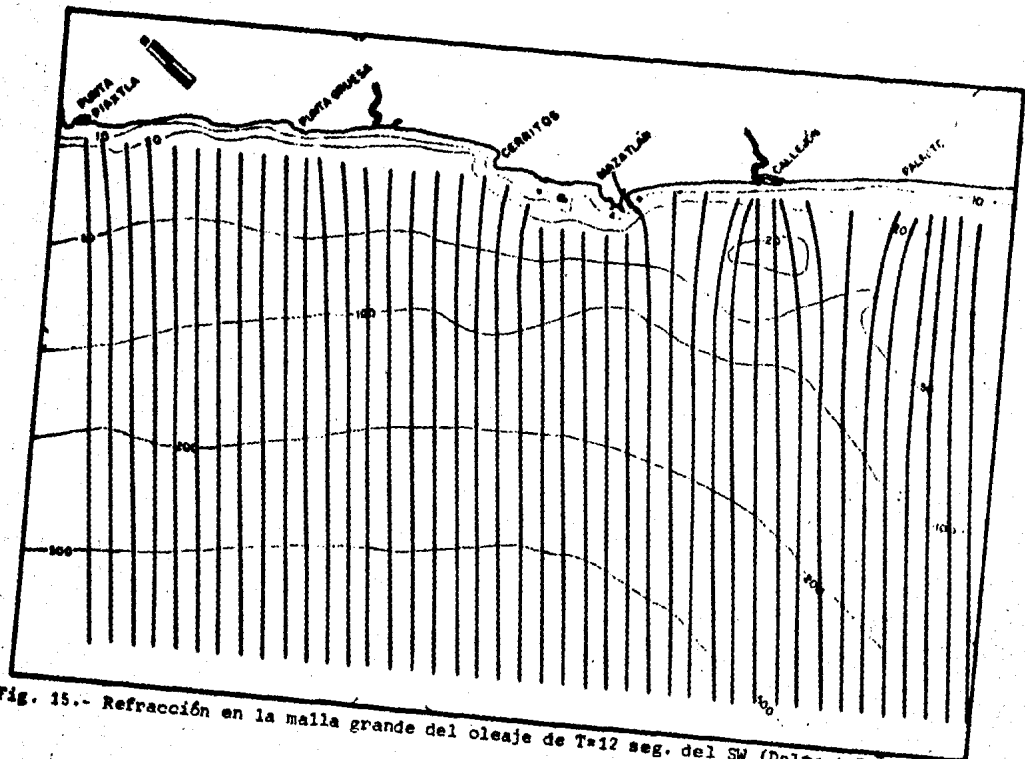


Fig. 15.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=12$  seg. del SW ( $\Delta t=66,6$  seg.).

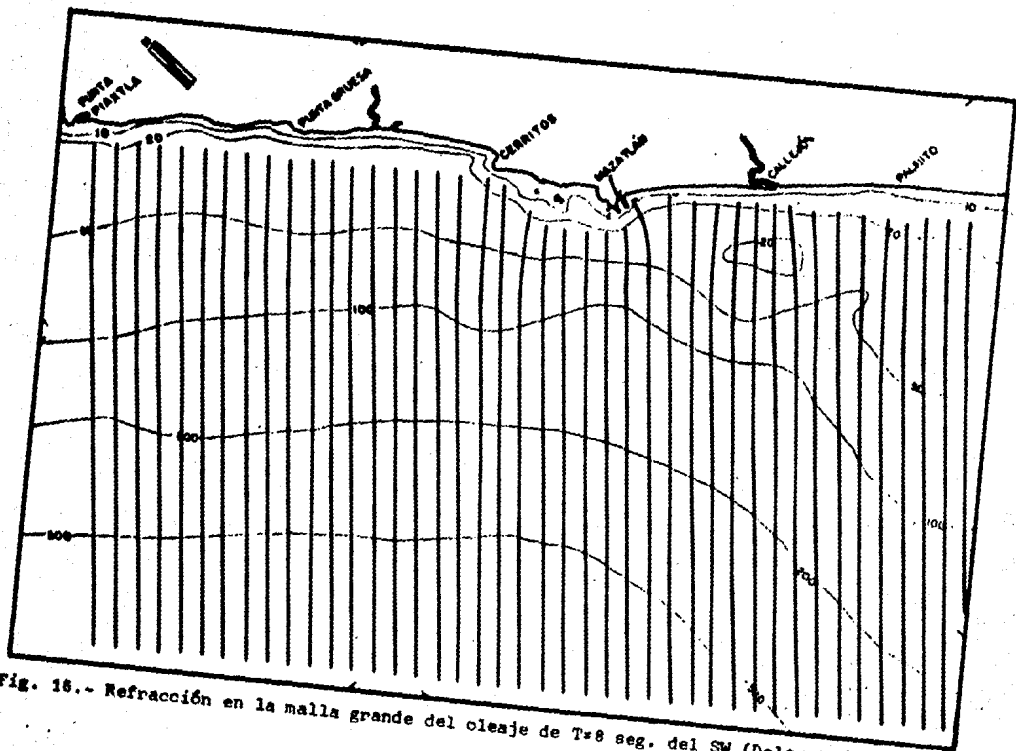


Fig. 16.- Refracción en la malla grande del cleaje de  $T=8$  seg. del SW ( $\Delta t=100.0$  seg.).

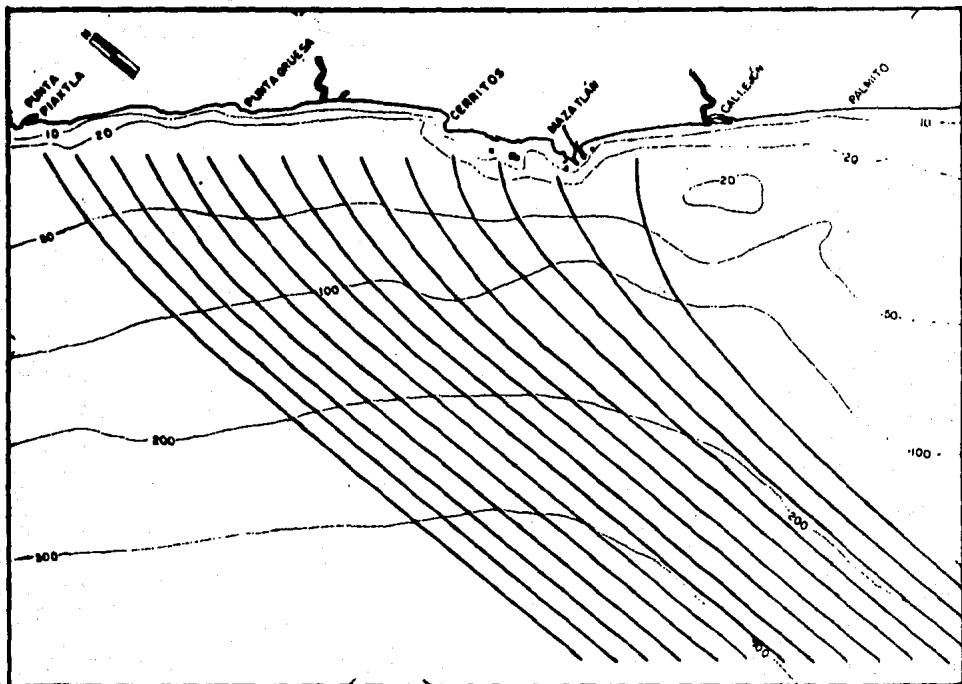


Fig. 17.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=16$  seg. del S ( $\Delta t=50.10$  seg.).

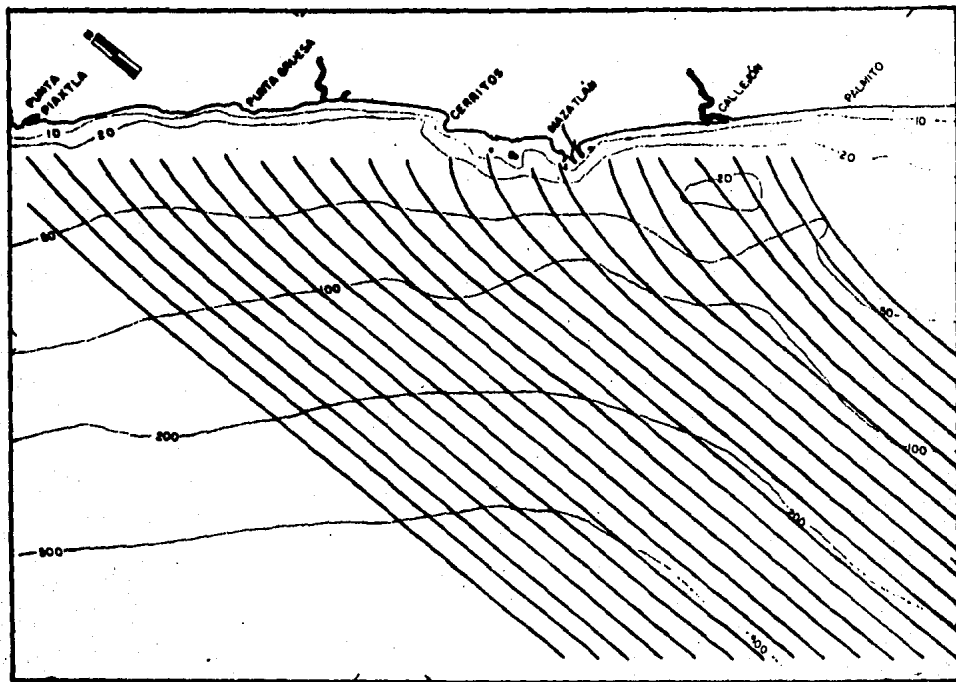


Fig. 18.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=12$  seg. del S ( $\Delta t=50.10$  seg.).

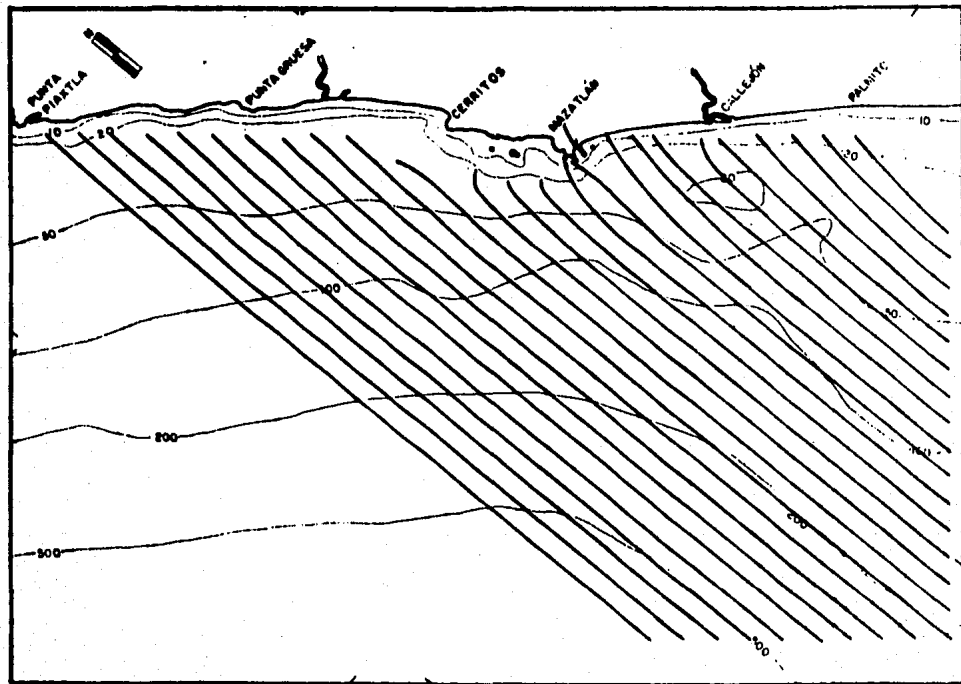


Fig. 19.- Refracción en la malla grande del oleaje de  $T=8$  seg. del S ( $\Delta t=100.0$  seg.).



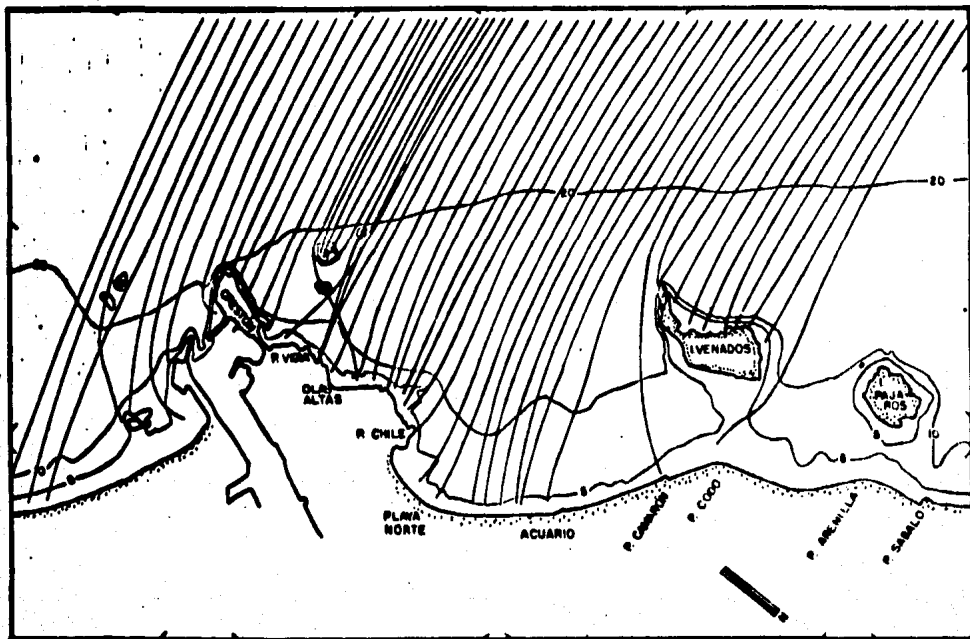


Fig. 20.- Refracción en la malla chica del oleaje de T=16 seg. del WW (Delta-t=5.0 seg.).

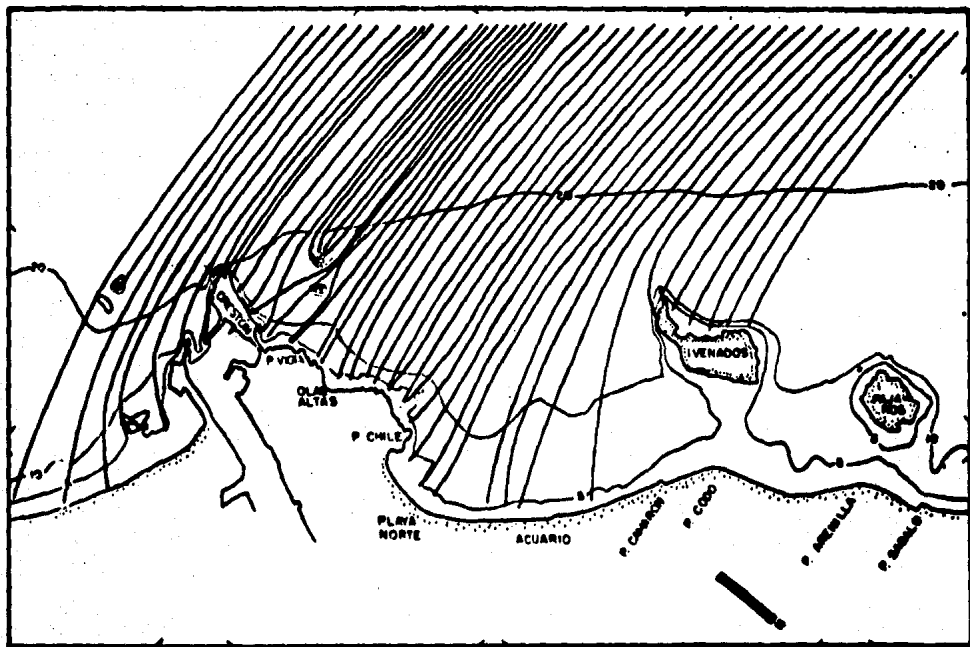


Fig.21.- Refracción en la malla chica del oleaje de T=12 seg. del WNW (Delta-t=6.67 seg.)

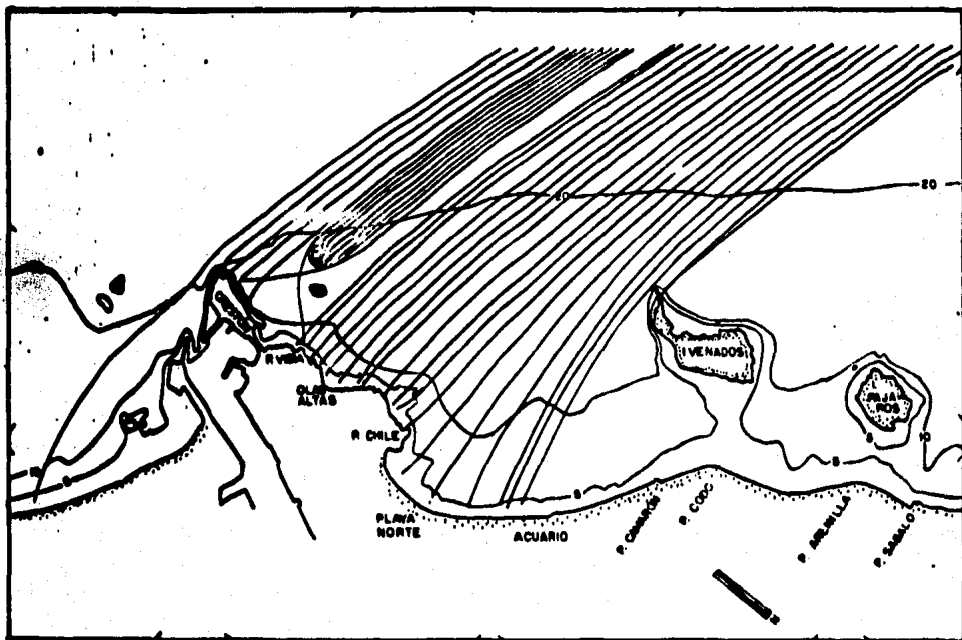


Fig. 22.- Refracción en la malla chica del oleaje de  $T=8$  seg. del WNW (Delta -  $t=10$  seg.).

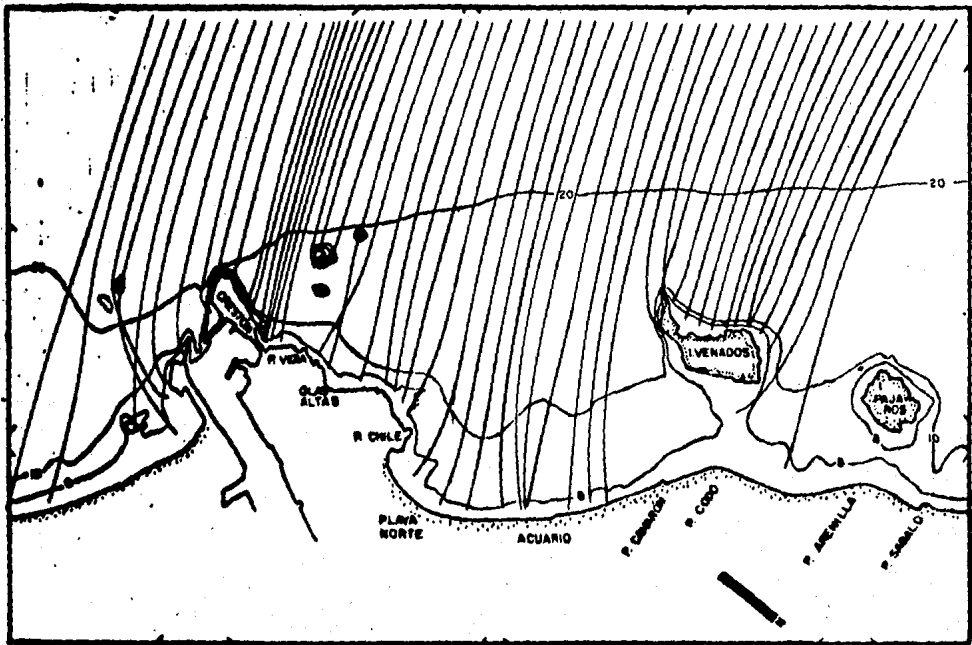


Fig. 23.- Refracción del oleaje en la malla chica de  $T=16$  seg. del W ( $\Delta t = 5$  seg.).

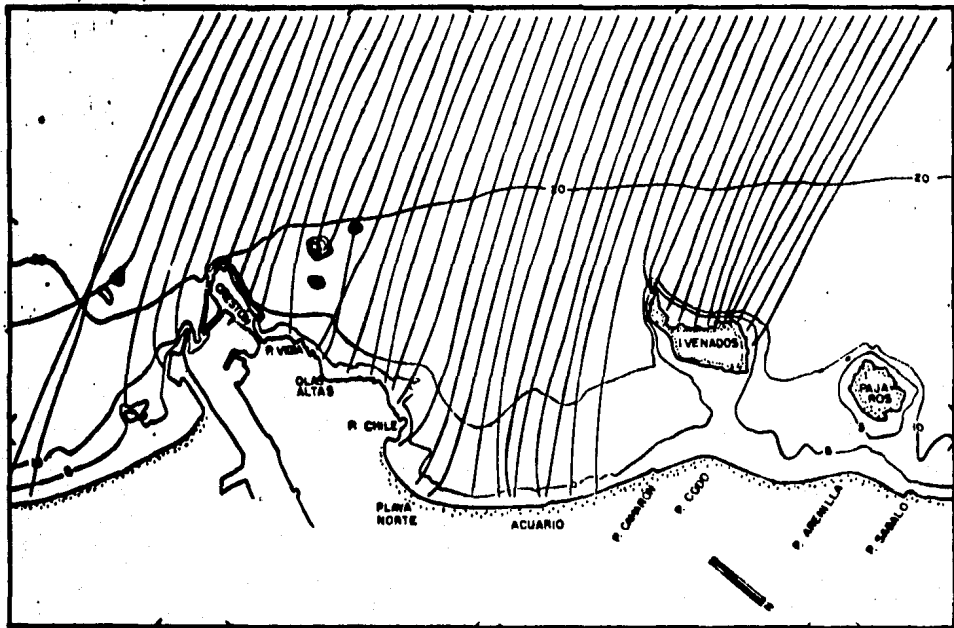


Fig. 24.- Refracción del oleaje en la malla chica de  $T=12$  seg. del W (Delta -  $t=6.7$  seg.).

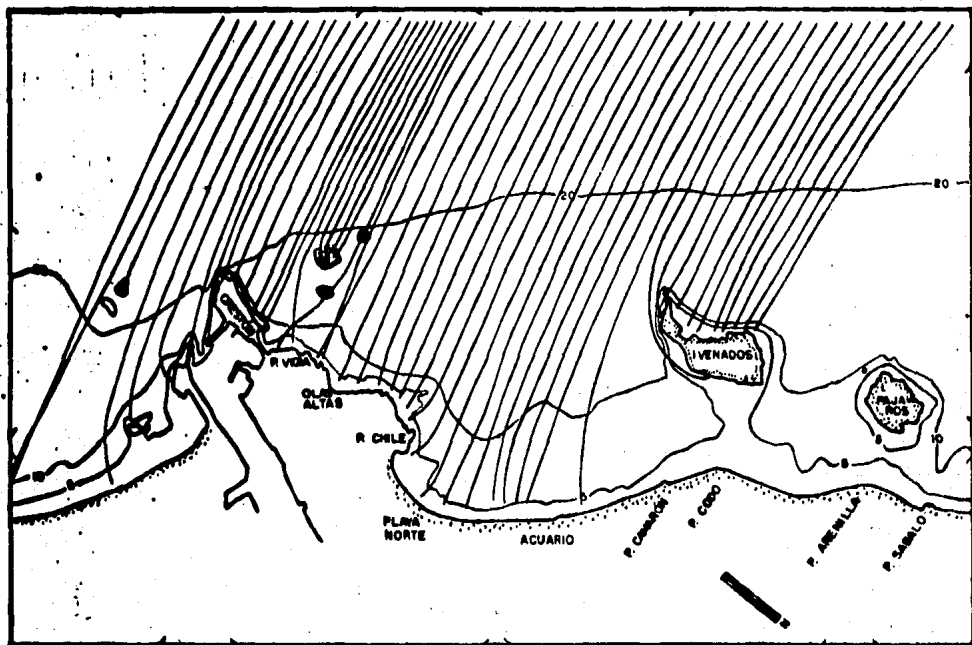


Fig. 25.- Refracción en la malla chica del oleaje de  $T=8$  seg. del W ( $\Delta t=10$  seg.).

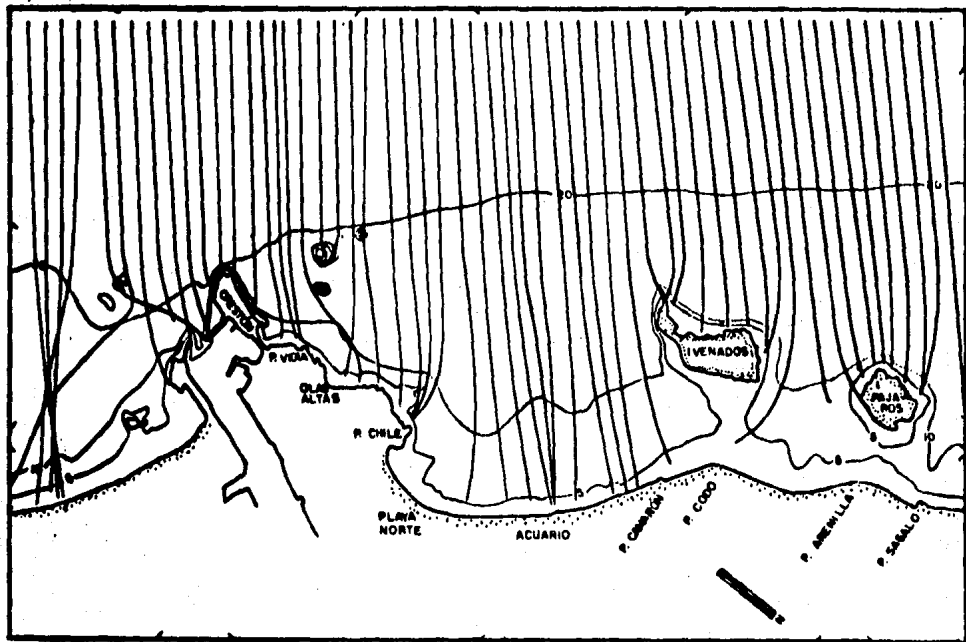


Fig. 26.- Refracción en la malla chica del oleaje de  $T=16$  seg. del SW ( $\Delta t=5.0$  seg.)

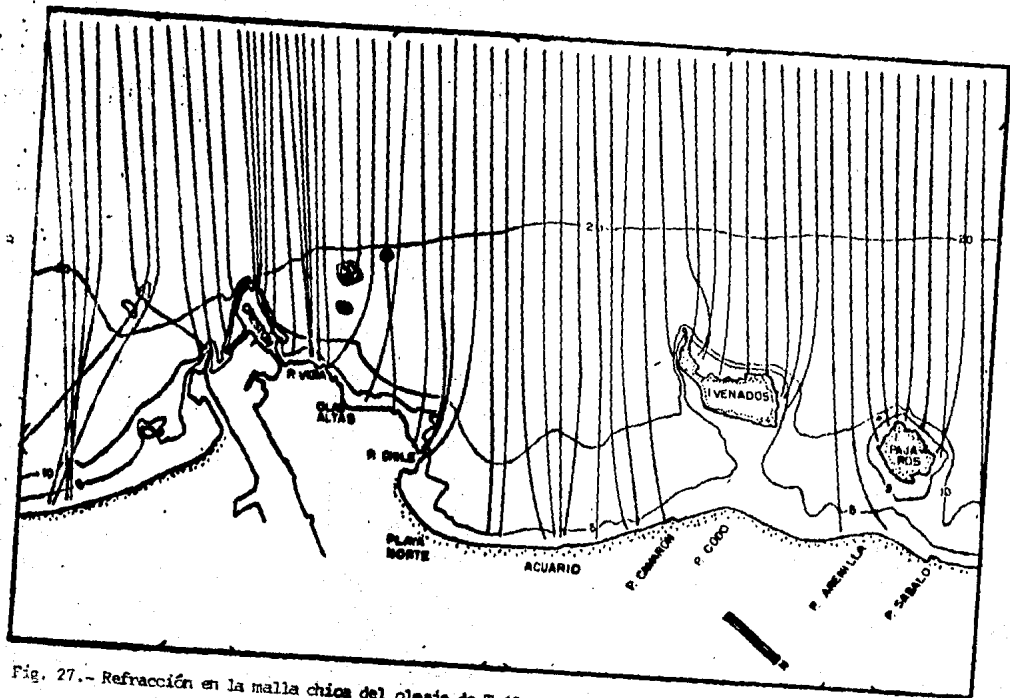


Fig. 27.- Refracción en la malla chica del oleaje de  $T=12$  seg. del SW ( $\Delta t=6.7$  seg.).



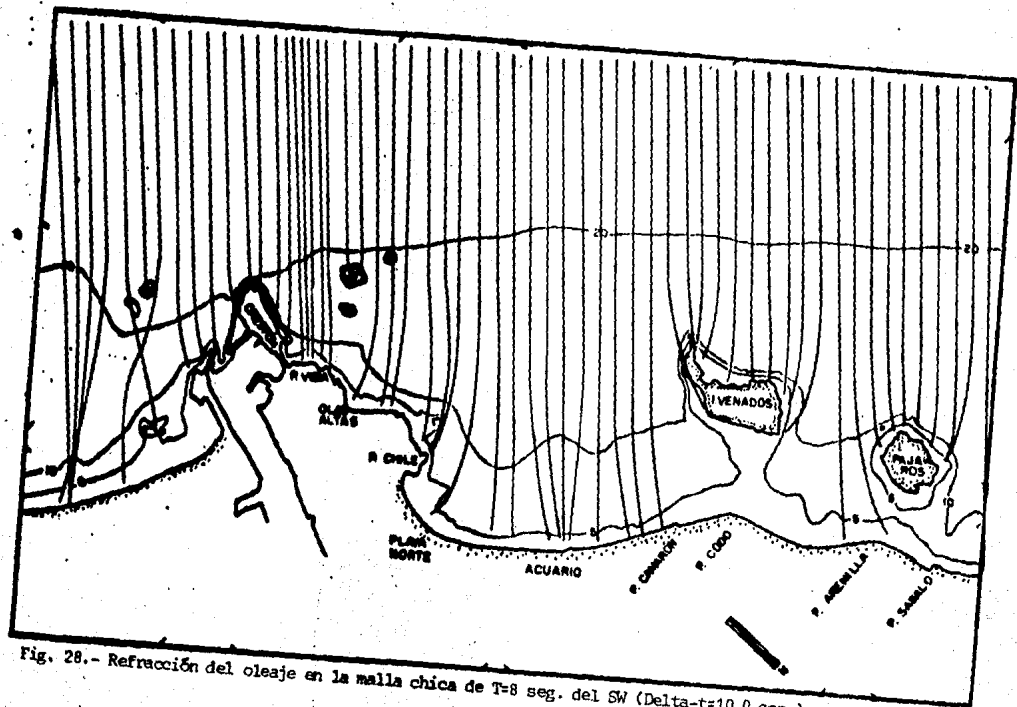


Fig. 28.- Refracción del oleaje en la malla chica de T=8 seg. del SW (Delta-t=10,0 seg.).

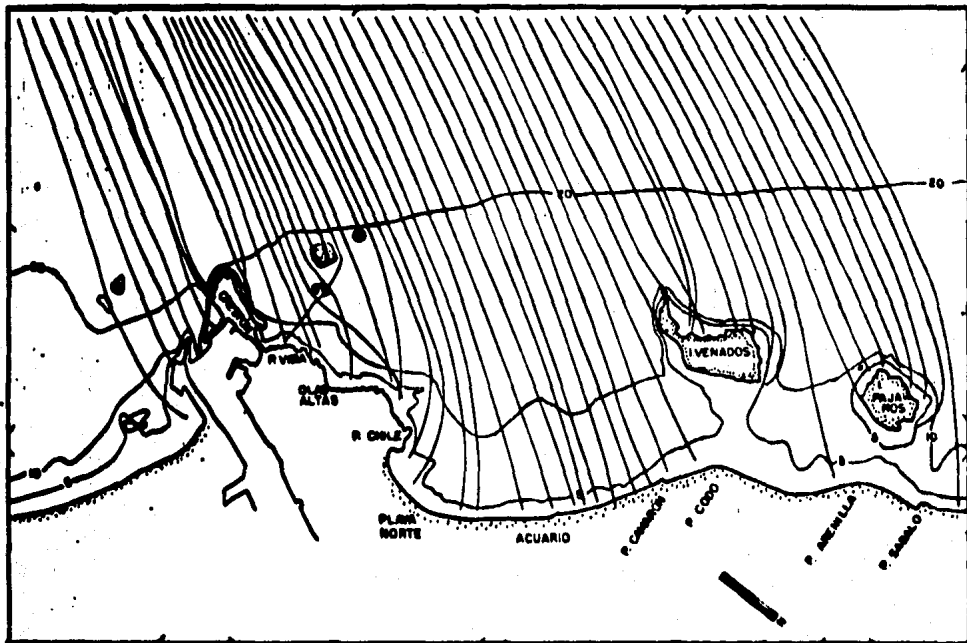


Fig. 29.- Refracción en la malla chica del oleaje de T=16 seg. del S (delta-t=5 seg.).

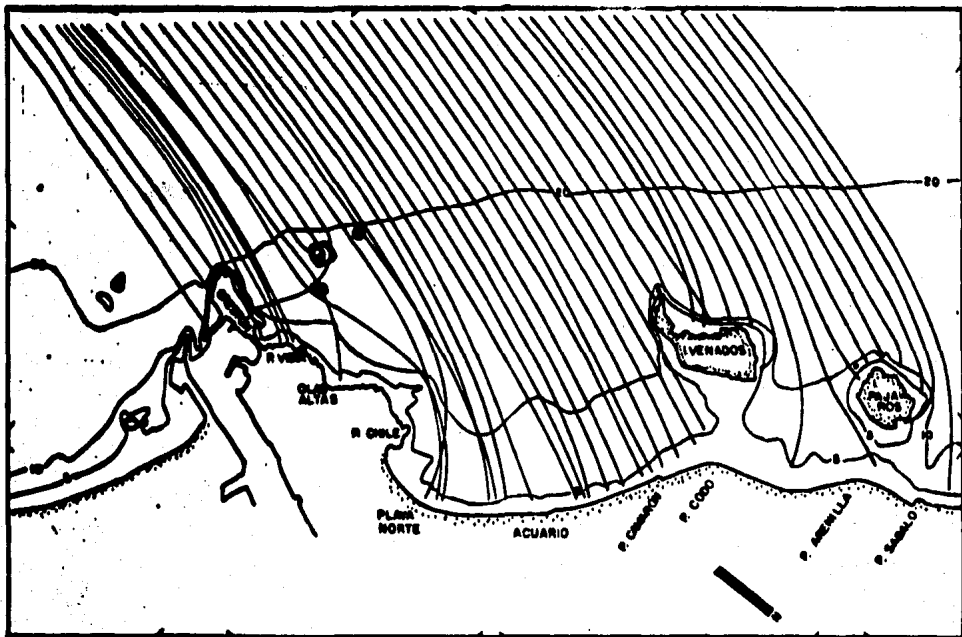


Fig. 30.- Refracción en la malla chica del oleaje de  $T=12$  seg. del S ( $\Delta t=6.7$  seg.).

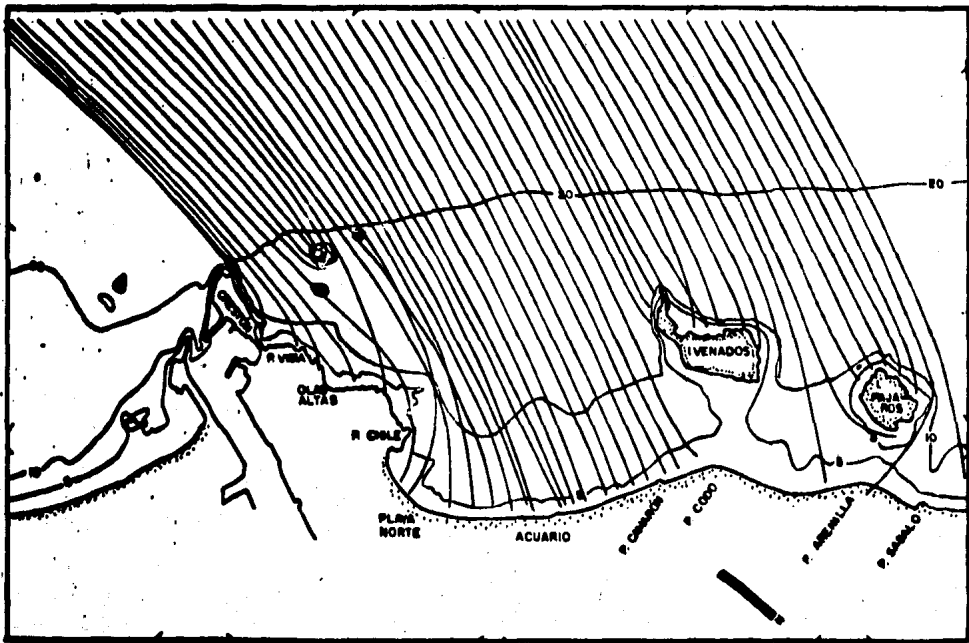


Fig. 31.- Refracción en la malla chica del oleaje de T=8 seg. del S (Delta  $-t=10.0$  seg.).

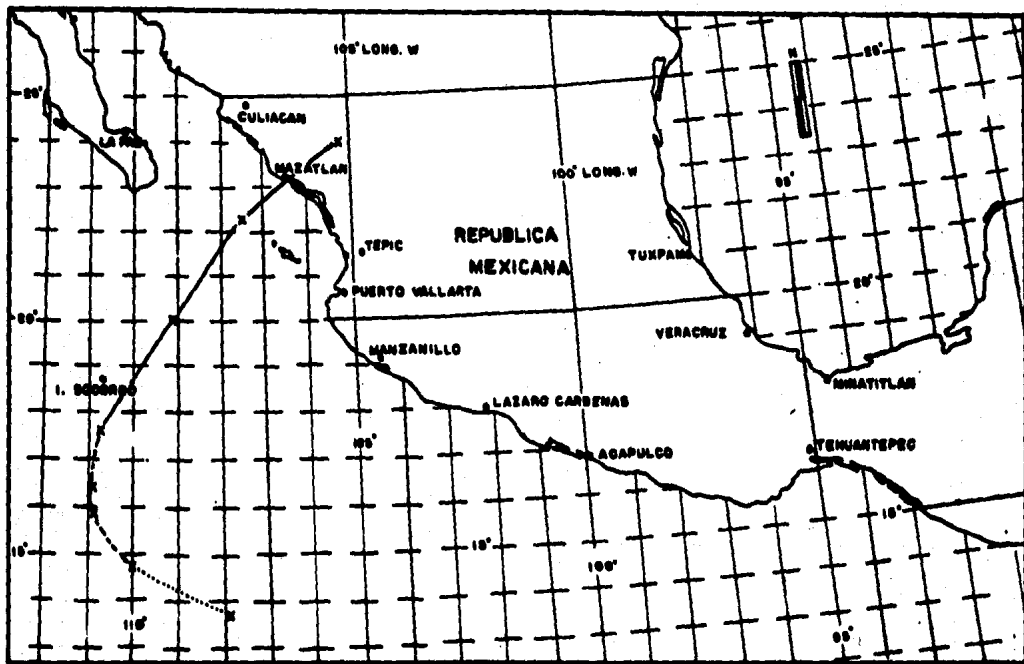


Fig. 32.- Trayectoria seguida por el Huracán Olivia (1975) y sus fases de desarrollo. Los puntos indican depresión tropical, los guiones tormenta tropical y la línea continua huracán (Baum, 1976)

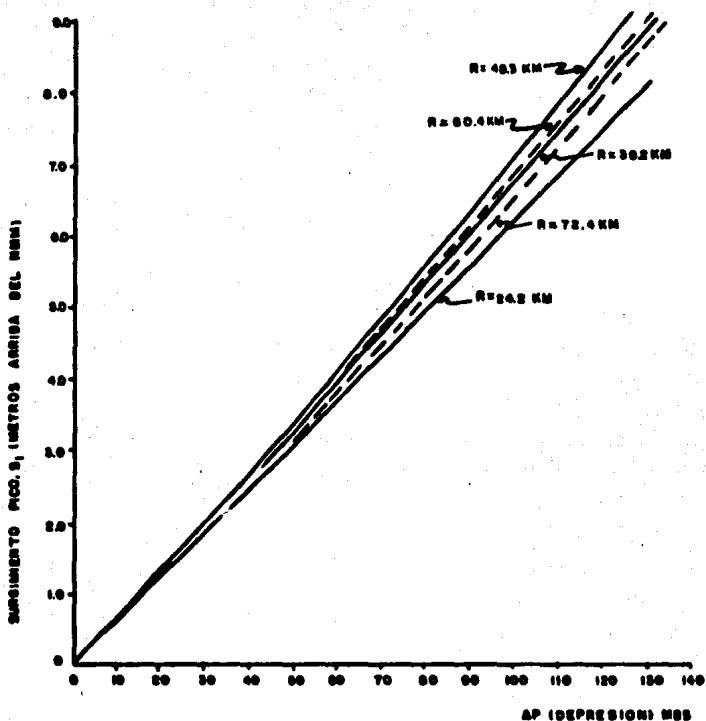


Fig.- 33.-Nomograma para el surgimiento pico en costa abierta en función de la depresión máxima y el radio de vientos máximos. (de W.M.O.-500,1978).

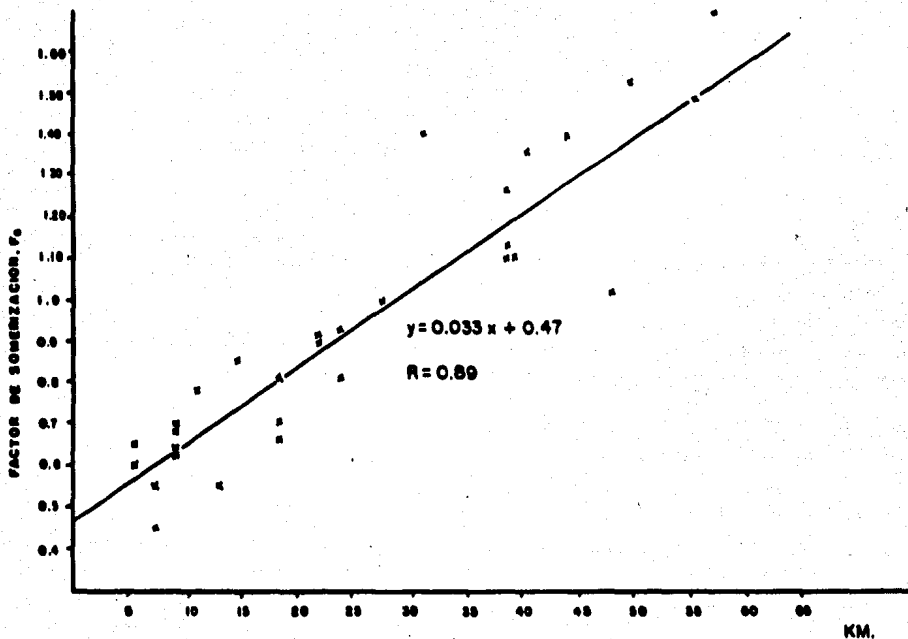


Fig. 34.- Factor de somerización para las costas Este y del Golfo de Mexico de los E.U.A. vs distancia a la que se encuentra la isóbata de 18 m. La ecuación obtenida se usó para calcular el F<sub>s</sub> en las Peñas, Sin.

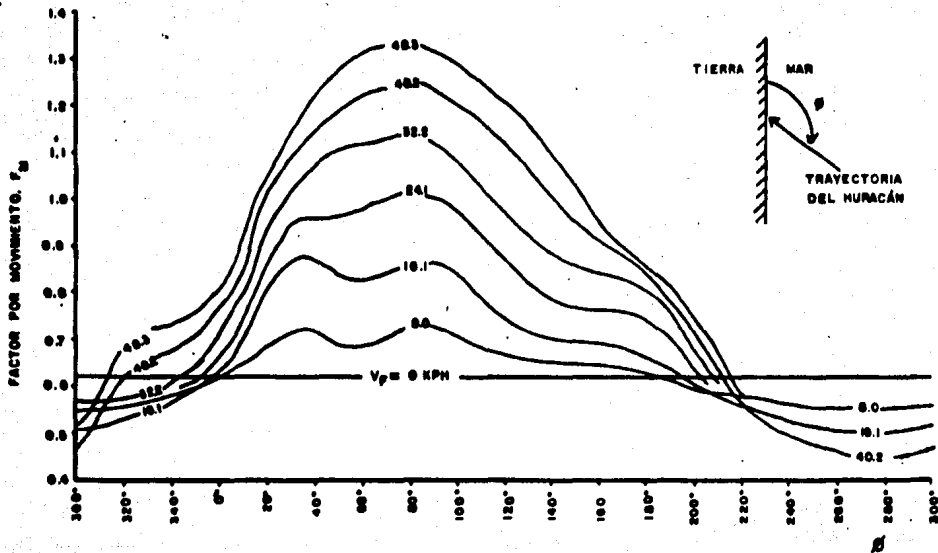


Fig. 35.- Nomograma para el factor de corrección por movimiento del Huracán (de WMO No. 500, 1978) en función de la velocidad de desplazamiento de la perturbación y de su ángulo de entrada a tierra. (USACERC, 1977).



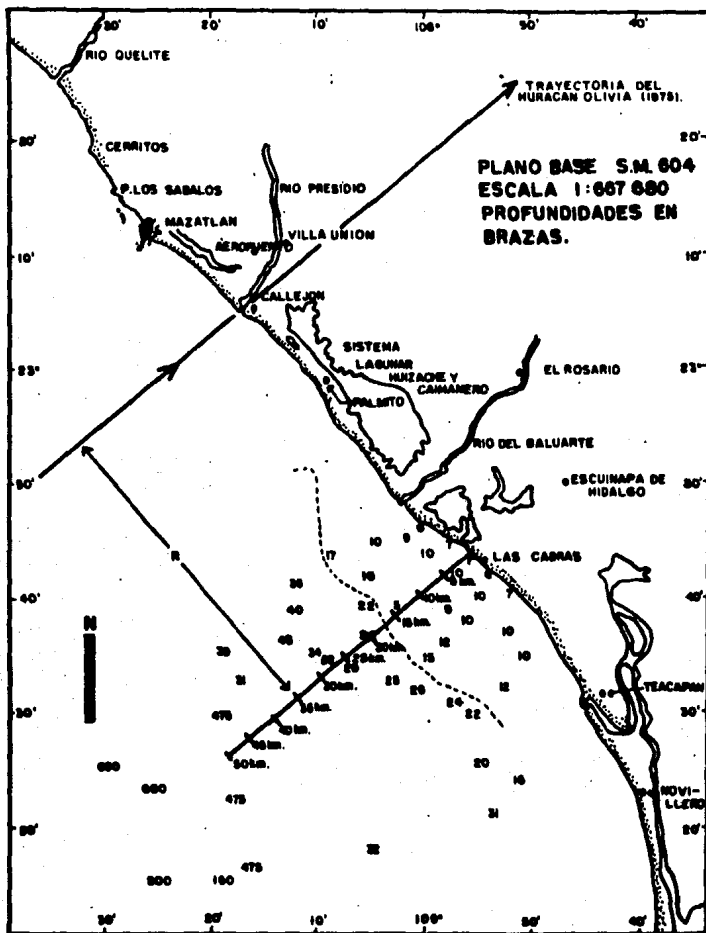


Fig. 36.- Trayectoria del Huracán Olivia (1975), el radio de vientos máximos (R) y el perfil sobre el que se calculó la ola máxima y la Sena máxima.

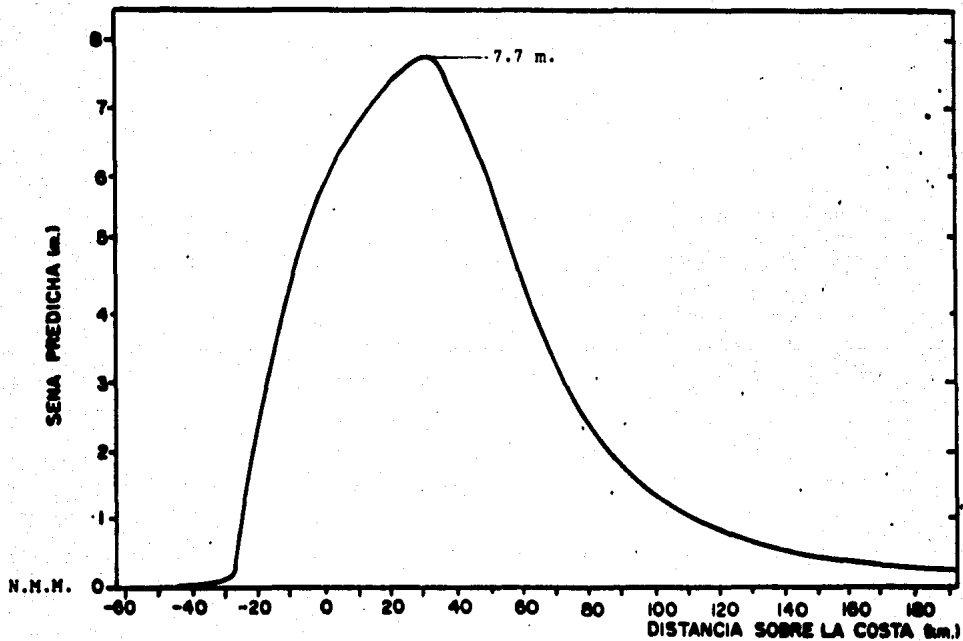
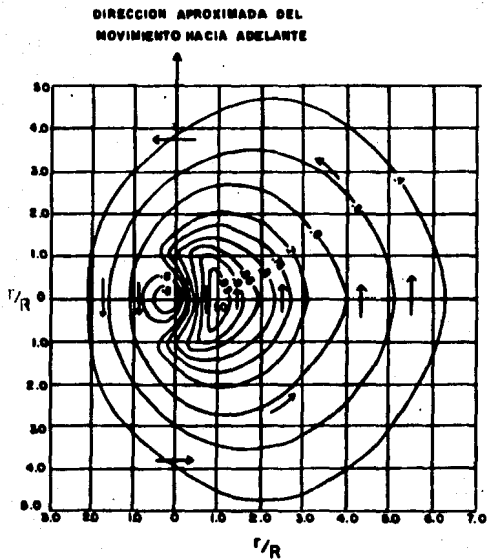
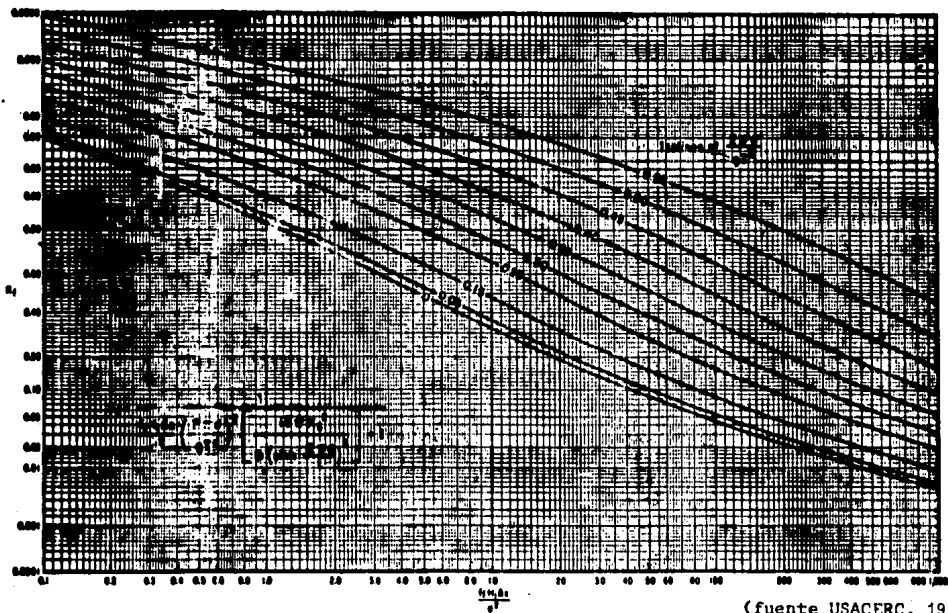


Fig.37.- Perfil de la Sena sobre la costa provocada por el huracán Camila de agosto de 1969 en la costa del Golfo de México. El cero de distancia corresponde al punto donde el huracán entro a tierra. ( $\Delta P = 108.13$  mb.,  $V_f = 24$  KPH,  $R = 26$  Km.)..



- DISTANCIA RADIAL AL PUNTO DE INTERES
- R DISTANCIA RADIAL A LA OLA SIGNIFICANTE MAXIMA
- DIRECCION APROXIMADA DEL GLEAJE

Fig. 38.- Isolíneas de altura significativa de ola relativa para un huracán con desplazamiento lento. (USACERC, 1977).



(fuente USACERC, 1977)

Fig. 39.- Relación para el coeficiente de pérdida de altura por efecto de fricción sobre un fondo de profundidad constante ( $K_f$ ).

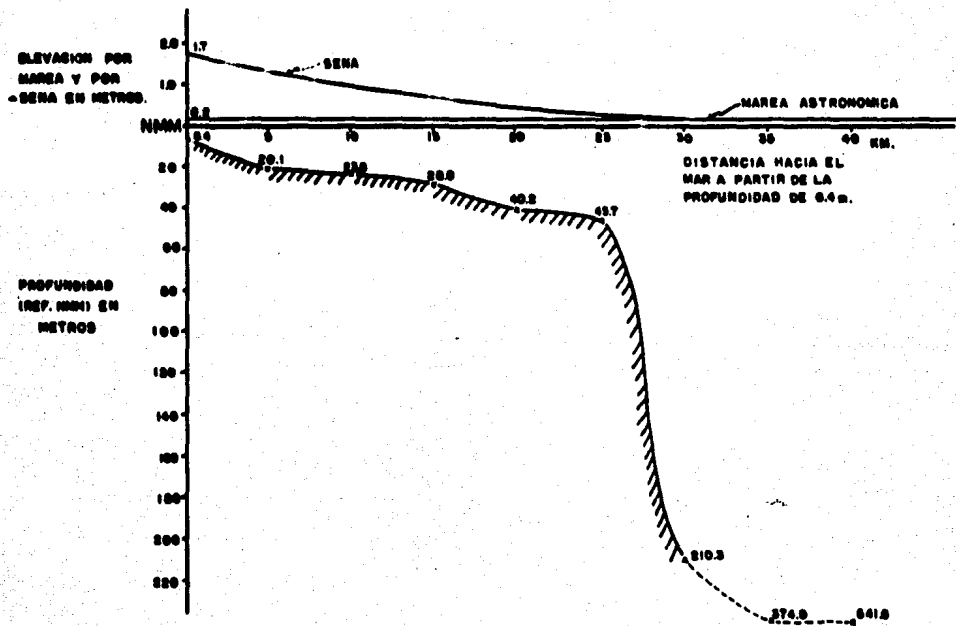


Fig.40.- Perfil batimétrico frente a las Cabras, Sin., marea astronómica durante la entrada del Huracán Olivia a tierra y la Sena provocada por este.

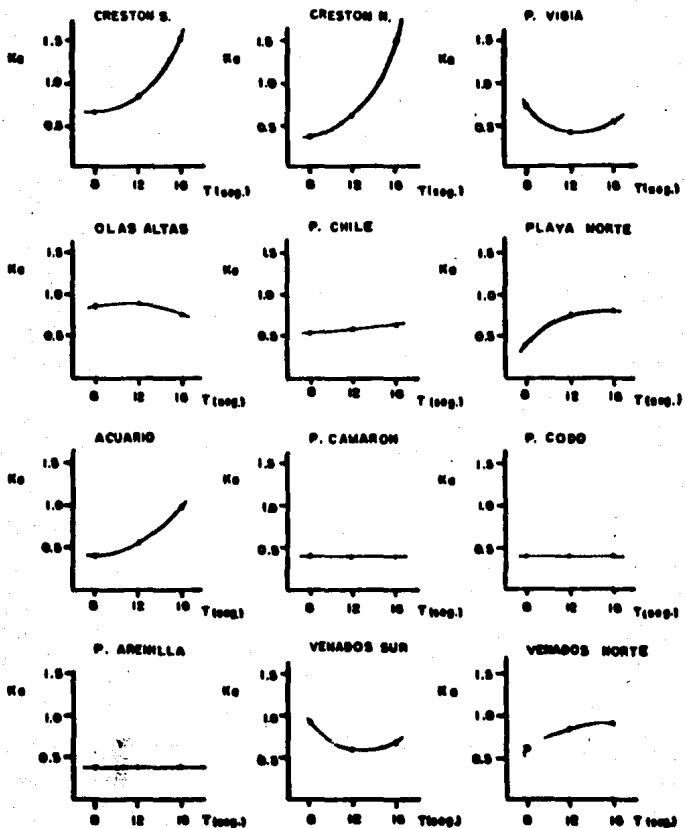
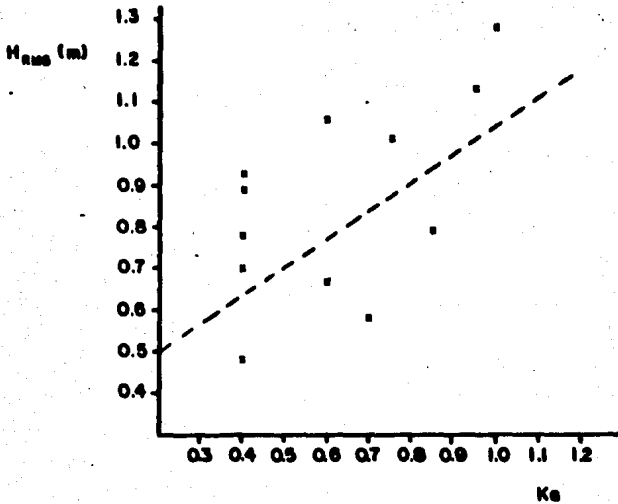


Fig. 41.- Coeficientes de altura ( $K_a = K_s \cdot K_r$ ) del oleaje del WNW vs periodo para los lugares donde se hicieron mediciones de oleaje. (P. Sábalo e I. Pájaros no analizados).



$n=12$

$b=0.5$

$m=0.54$

$R=0.53$

Fig.42.- Relación de las Hrms medidas vs los coeficientes de altura,  $K_a$ , para oleaje del WNW.

Tabla 1.- Valores mínimos de presión registrados en el mundo durante el paso de un huracán (springal, 1975). El último valor es del Huracán Olivia (1975).

Lower Metacumbe Key, Fla.	2 de septiembre de 1935	892.31 mb.
Basilan, P.I.	25 de septiembre de 1905	907.89 mb.
Cossack, Australia.	7 de enero de 1881	914.33 mb.
Chetumal, México.	28 de septiembre de 1955	914.33 mb.
Mazatlán, México. *	24 de octubre de 1975.	960.04 mb.
* Fuentesvilla, A.A., 1983.		

Tabla 2.- Alturas de marea durante el día 24 y 25 de octubre de 1975 (Ref. NBMI).

Fecha	Hora	Altura
24 de octubre de 1975	0318	0.45 m.
	0925	1.25 m.
	1630	0.10 m.
	2306	0.80 m.
25 de octubre de 1975	0341	0.55 m.
	0953	1.16 m.



Tabla 3.- Frecuencia de ocurrencia (%) de alturas de ola (m.) por mes para la región de Mazatlán, Sin. (según S.S.M.O., 1981).

H (metros)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<0.25	0.9	1.0	1.9	1.9	2.1	1.6	1.1	1.6	3.5	2.6	2.1	1.4
>0.26 a 0.75	3.1	3.6	3.1	3.6	4.1	4.0	4.1	3.9	2.6	3.7	2.4	2.8
>0.76 a 1.25	2.5	2.3	1.5	1.7	1.3	2.0	2.1	1.9	1.1	1.2	1.7	2.5
>1.26 a 1.75	1.2	0.7	0.9	0.7	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	0.6	0.9	1.4
>1.76 a 2.25	0.6	0.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.4	0.1	0.2	0.5
>2.26 a 2.75	0.2	0.1	0.2	0.1		0.1	0.1	0.1	0.2			0.3
>3.26 a 3.75		0.1		0.1								0.1
>3.75 a 4.75		0.1										
>4.76 a 5.75								0.1		0.1		

Tabla 4.- Frecuencia de ocurrencia (%) de altura de ola (m.) vs. dirección del viento para la región de Mazatlán, Sin. (según S.S.M.O., 1981).

H (metros)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<0.25	2.1	0.8	1.2	1.0	1.0	1.6	2.7	2.6
>0.26 a 0.75	6.0	2.5	2.5	3.0	3.7	4.3	8.0	10.8
>1.26 a 1.75	2.9	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	2.6
>1.76 a 2.25	0.9	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	1.6
>2.26 a 2.75	0.4		0.1	0.2	0.2			0.3
>2.76 a 3.25	0.1		0.1					0.2
>3.26 a 3.75	0.1							0.1
>3.76 a 4.75								
>4.76 a 5.75					0.1			
<b>Total</b>	<b>16.4</b>	<b>5.0</b>	<b>4.7</b>	<b>6.0</b>	<b>7.3</b>	<b>8.6</b>	<b>15.2</b>	<b>24.7</b>

Tabla 5.- Deltas-t (seg.) utilizados para cada serie de corridas del programa de refracción del oleaje.

Periodo (seg.)	8	12	16
Malla chica	10.01	6.67	5.00
Malla grande	100.00	66.6	50.10

Tabla 6.- Promedios de dirección y coeficientes de altura de entrada a la malla chica (promedio de dirección/promedio de coeficientes).

Periodo (seg.)	8	12	16
Dirección original			
WNW = 152.5°	147.9/0.91	133.9/0.73	123.8/0.68
W = 130.0°	122.3/0.93	117.7/0.85	113.1/0.89
SW = 85.0°	85.5/0.97	85.6/0.91	84.9/0.92
S = 40.0°	52.0/0.86	53.2/0.74	65.4/0.60

Tabla 7 .- Características meteorológicas del Huracán Olivia (1975)

- Radio medio de vientos máximos (R) = 43.8 Km. (23.7 m.n.) (1)
- Atmósfera Estándar (P) = 1009.82 mb. (29.82 pulg. de Hg) (2)
- Presión en el ojo (Po) = 960.04 mb. (28.35 pulg. de Hg) (2)
- Depresión (AP) = 49.78 mb. (1.47 pulg. de Hg)
- Velocidad del Huracán ( $V_F$ ) = 28 Km/hr. (15.1 nudos) (3)
- Velocidad de vientos máximos ( $U_R$ ) = 212 Km/hr. (114.5 nudos) (3)
- Distancia al sur de Mazatlán donde el ojo entró al continente (D) = 20.0 Km. (10.8 m.n.) (3)
- Parámetro de coriolis a  $22.5^\circ N = 0.200$

## Coordenadas y desarrollo del Huracán Olivia (Gum, 1976)

Día	Hora	Estado de desarrollo	Lat. N	Long. W
Oct. 21	1700	Depresión tropical	$13.7^\circ$	$107.8^\circ$
22	500	Tormenta tropical	$14.7^\circ$	$110.0^\circ$
22	1700	" "	$15.9^\circ$	$110.9^\circ$
23	500	" "	$16.4^\circ$	$110.8^\circ$
23	1700	Huracán	$17.6^\circ$	$110.7^\circ$
24	500	"	$20.0^\circ$	$109.1^\circ$
24	1700	"	$22.3^\circ$	$107.5^\circ$
24	2100-2300	Huracán. Entrada a tierra	$23.1^\circ$	$106.3^\circ$
25	500	Proceso de disipación	$23.9^\circ$	$105.2^\circ$

(1) Calculado según Springal, 1975

(2) Fuentevilla, 1973

(3) Azevedo, 1975

Tabla 8 .- Factor de somerización para las Costas Este y del Golfo de México de los Estados Unidos vs distancia a la que se encuentra la isóbata de 18 m..La ecuación obtenida se usó para calcular Fs frente a Las Peñas, Sin. (Tomado de USACERC, 1977).

Costa del Golfo		Costa Este	
Dist.(m.n.)	Fs	Dist.(m.n.)	Fs
5	0.64	4	0.55
5	0.68	10	0.72
26	1.03	4	0.45
36	1.15	10	0.67
34	1.78	13	0.82
5	0.70	15	1.0
30	1.75	27	1.53
3	0.65	25	1.40
3	0.60	21	1.13
22	1.37	21	1.27
21	1.10	21	1.10
31	1.65	12	0.92
17	1.40	5	0.63
		8	0.85
		6	0.78
		13	0.93
		10	0.81
		12	0.90
		7	0.55

Fs promedio = 0.98  
 Distancia promedio = 15.06 m.n.  
 Intersección al eje vertical = 0.47  
 Pendiente = 0.033  
 R = 0.89

Tabla 9.- Coeficiente de altura ( $K_a = K_R \times K_s$ ) en la s6bata de 5 m. para diferentes sitios de la costa de Mazatl6n.

Direcci6n y Per6do	Crest6n Sur	Crest6n Norte	P. Vig6a	Olas altas	P. Chile	Playa Norte	Acuario	P. Camar6n	P. Codo	P. Arenilla	P. S6balo	Venados Sur	Venados Norte	P6jaros
WNW-16 seg.	1.54	1.48	0.53	0.76	0.64	0.80	0.97	<.5	<.5	<.5	NA	0.67	0.90	NA
WNW-12 seg.	0.81	0.60	.5	0.89	0.57	0.77	0.53'	<.5'	<.5'	<.5	NA	0.59'	0.85'	NA
WNW- 8 seg.	0.67	0.44	0.74	0.86	0.54	0.45	0.41	<.5	<.5	<.5	NA	0.92	NA	NA
W-16 seg.	1.01	1.26	0.49	0.59	<.5	0.95	1.28	<.5	<.5	<.5	NA	1.44	1.90	NA
W-12 seg.	0.92	0.88	<.5	1.04	1.01	0.98	1.01	<.5	<.5	<.5	NA	1.03	1.46	NA
W- 8 seg.	0.92	0.81	<.5	0.81	0.58	0.71	1.19	<.5	<.5	<.5	NA	0.72	0.94	NA
SW-16 seg.	0.97'	0.85'	1.12'	0.52'	1.3'	0.47'	1.5	0.65	<.5	0.59	.58	0.96	1.02	1.24
SW-12 seg.	1.04	.5	1.08	<.5	<.5	0.68	1.66	0.72	<.5	0.55	<.5	0.60	0.84	1.44
SW- 8 seg.	1.06	0.55	0.93	<.5	1.86	0.32	0.91	0.84	<.5	0.56	<.5	0.68	0.85	1.15
S-16 seg.	<.5	0.80	0.60	<.5	<.5	0.85	1.51	0.64	<.5	<.5	<.5	0.54	0.66	0.85
S-12 seg.	0.43	<.5	1.63	<.5	<.5	<.5	1.35	0.75	<.5	<.5	<.5	0.61	0.55	0.72
S- 8 seg.	NA	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	<.5	0.88	<.5	<.5	<.5	0.72	0.65	0.72

Nota: Los valores con ap6strofe (') son de T = 14 seg.. NA = No Analizado.

Tabla 10.-  $H_{RMS}$ , Períodos y  $Ka$ 's para los lugares donde se hicieron mediciones de oleaje (oleaje del WNW).

Estación	$H_{RMS}$ (m.)	Período (seg.)	$Ka$
Crestón Sur	1.28	13.3	1.0
Crestón Norte	0.89	7.2	0.4
P. Vigía	0.93	10.0	0.4
Olas Altas	0.79	10.4	0.85
P. Chile	1.06	15.4	0.6
Playa Norte	1.67	14.0	0.8
Acuario	1.13	14.3	0.95
P. Camarón	0.70	13.8	0.4
P. Codo	0.48	8.11	0.4
P. Arenilla	0.78	9.01	0.4
P. Sábalo	1.33	9.73	NA
Venados Sur	1.01	9.1	0.75
Venados Norte	0.58	7.3	0.7
I. Pájaros	0.40	11.5	NA

NA = No Analizado.

Tabla 11.- Cálculos para obtener la Sena (Surgimiento pico).

Datos:

AP = 49.78 mb.

$V_F$  = 27.9 km/hr.

R = 43.8 km.

Angulo con respecto a la línea de costa = 90°

Valores precalculados:

Número preliminar (fig. 33):

$$S_I = 3.3 \text{ m.}$$

De acuerdo a la localidad, el factor de somerización es (fig. 34):

$$F_S = 0.45$$

De acuerdo con el movimiento de la tormenta, el factor es (fig. 35):

$$F_M = 1.02$$

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Sena} &= S_I \times F_S \times F_M \\ &= 3.3 \times 0.45 \times 1.02 \\ &= 1.5 \text{ m.} \end{aligned}$$

El valor de la Sena obtenido corresponde al surgimiento pico originado por la entrada a tierra del Huracán Olivia (1975).

Tabla 12.- Cálculos de la ola de tormenta sobre la plataforma continental y su aproximación a la costa (pag. 34-37). El número hasta arriba es el número de la columna, abajo se da el contenido de cada una de ellas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
40	541	707	542	625	41.8	9.2	11.7	2.93	0.00	1.0	9.20	41.8	11.7	2.54	1.0	9.2	482	16.2
35	374	542	375	459	41.8	9.2	11.7	2.15	0.00	1.0	9.20	41.8	11.7	1.75	1.0	9.2	481	16.2
30	209	375	210	293	41.8	9.2	11.7	1.37	0.01	1.0	9.20	41.8	11.7	0.98	1.0	9.2	481	16.2
25	45	210	46	128	41.8	9.2	11.7	0.60	0.03	0.99	9.11	41.0	11.6	0.22	0.9201	8.4	484	14.8
20	39	46	40	43	41.8	9.2	11.7	0.20	0.25	0.98	9.02	40.1	11.6	0.19	0.9171	8.3	486	14.5
15	27	40	29	35	41.8	9.2	11.7	0.16	0.30	0.96	8.83	38.5	11.4	0.14	0.9146	8.1	491	14.2
10	23	29	25	27	41.8	9.2	11.7	0.13	0.63	0.92	8.46	35.4	11.2	0.13	0.9172	7.8	502	13.7
5	19	25	21	23	40.4	9.0	11.6	0.11	0.85	0.90	8.10	32.4	11.0	0.11	0.9228	7.5	513	13.2
0	6	21	8	15	37.4	8.7	11.4	0.07	1.93	0.76	6.61	21.6	9.9	0.05	1.010	6.7	568	11.9

Columna 1.-  $x$

Columna 2.-  $dx$

Columna 3.-  $d_1$

Columna 4.-  $d_2$

columna 5.-  $\bar{d}_T$

Columna 6.-  $F_0$

Columna 7.-  $H_0$

Columna 8.-  $T_0$

Columna 9.-  $\bar{d}_T/L_0$

Columna 10.-  $f_f H_0 A x / \bar{d}_T$

Columna 11.-  $K_f$

Columna 12.-  $H_1^2$

Columna 13.-  $Fe^4$

Columna 14.-  $T_0^4$

Columna 15.-  $d_2/L_0^4$

Columna 16.-  $K_s$

Columna 17.-  $H_s$

Columna 18.-  $N$

Columna 19.-  $H_{max}$ .



## V.- DISCUSIONES

La validez de un estudio de refracción dependerá de la precisión de la batimetría, la densidad de la malla, el delta-t y lo fidedigno de los datos de oleaje. En lo que concierne al problema de pérdida de energía por efecto de fricción de fondo, Munk (1947) escribe: "ha habido una tendencia en la literatura a enfatizar el efecto de fricción del fondo sobre el movimiento de las olas y otras características. No sólo la evidencia presentada en este trabajo, sino estudios que tratan con la generación del oleaje por vientos y con cambios absolutos de la altura de la ola en aguas someras, y la dinámica de las olas en rompiente, indican que el movimiento de la ola en general no es apreciablemente afectado por procesos friccionales".

Vale la pena mencionar que Cavaleri (1982) en su trabajo de generación y disipación del oleaje menciona una serie de procesos donde se disipa energía, éstos son: percolación, interacción ola-fondo, fricción del fondo y dispersión de fondo. Los cuales son efectivos, o cuando menos de un orden de magnitud considerable (el coeficiente de reducción entre  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$ ), cuando  $Kh = (2\pi h/L)$  es menor de 0.3.

De lo anterior mencionado se observa que los procesos de reducción de energía tienen lugar en la proximidad de la rompiente, haciendo despreciable la pérdida de energía del oleaje fuera de esta zona. Para el caso del oleaje de tormenta este problema se discute más adelante.

Una razón para no hacer el análisis de refracción de oleaje de períodos cortos es que estas olas tienden a perder su energía por efectos friccionales (no de fondo) un tanto más rápido, y perder su identidad más pronto que las olas largas, de período largo, y por lo tanto no viajan mucho. De lo anterior se desprende que si se generan le

jos no viajan mucho y no alcanzan la costa, y si se generan cerca no son refractadas hasta muy próximas a la costa (entran francas).

El programa de refracción de oleaje utilizado, según Worthington y Herbich (1971), presentó un error medio del 13% al comparar los coeficientes de altura calculados por el programa y los experimentales. Mencionan también que, comparando los resultados del programa con datos experimentales, la correlación no es muy buena en regiones de poca altura de ola, o coeficientes de altura bajo, mientras que es buena para valores altos del coeficiente de altura (olas altas).

La presencia de cósticos (cruce de ortogonales) fué mínima, y se les trató, por estar fuera de rompiente, como trenes de ola de distinta dirección.

El oleaje que se recibe frente a Mazatlán, Sin., de acuerdo con las tablas de "Sea and Swell", es predominantemente del NW y del W, representando el swell por este sector (NW+W) aproximadamente 70% anual, y el sea, el 50% anual. El oleaje del W tiene una ocurrencia anual de 20% para swell y 9% para sea. El oleaje que proviene del SW, según las tablas del "Sea and Swell", no representa más del 8% mensual para el sea y el 15% mensual para el swell y sólo durante algunos meses. El oleaje del Sur representa, para swell, sólo el 4% anual, y para sea el 1% anual. Este oleaje se manifiesta usualmente en la época de huracanes; si bien ésta se inicia en mayo (Jarrel et al, 1975), es generalmente considerada de julio a octubre (Sria. de Marina, 1974). Durante esta misma época, Munk y Traylor (1947) mencionan que, para la zona de la Joya, Cal., EUA., hay una fuerte evidencia de que el oleaje del sur que se recibe ha sido generado en las tormentas invernales del Hemisferio Sur, siendo esta información no verificada. El oleaje llega del sector S-SSW con períodos de 13 a 20 seg. y generalmente con a

turas de 0.9 a 1.5 m.

El agregar 15 columnas en la parte NW de la malla (fig. 5), permitió que las ortogonales originadas al principio de ésta alcanzaran, al acercarse a tierra, la malla chica y generaran los datos de entrada para ésta.

La decisión de usar el oleaje del WNW fué motivada porque la alineación de la costa es en dirección NW, lo que evita la incidencia del oleaje de este sector; además, revisando los planos batimétricos al NW de Mazatlán, encontramos tres rasgos importantes: primero, el oleaje generado en el fetch del Golfo de California, antes de encontrar Mazatlán, se encuentra con la proyección o península de Los Mochis, Sin., siendo ahí disipado, refractado y difractado; segundo, al sureste de Los Mochis, Sin., cerca de Guasave, la plataforma continental se extiende mar adentro, lo que ofrece bajas profundidades al oleaje del NW; tercero, probablemente el filtro más significativo del oleaje del NW, con dirección hacia Mazatlán, serían los bajos al SW de Culiacán y al suroeste de Punta Piaxtla. Por estos motivos se decidió utilizar la dirección WNW como la más frecuente.

Para los 12 casos de oleaje que se tratan, las ortogonales entran a la malla chica con valores menores de 1.0 de coeficiente de altura. En la Tabla 6 se muestran los coeficientes de altura de ingreso a la malla chica, así como los promedios de ángulo de entrada. Cabe mencionar que en promedio son 5 las ortogonales, por cada dirección de oleaje, las que ingresan a la malla chica (cada espacio de malla grande equivale a 20 de chica), y de ahí se generan los datos para iniciar las corridas en la malla chica.

Como es de esperarse, para una batimetría suave y oleaje que incide con cierto ángulo a la costa, existe curvamiento y divergencia de

ortogonales. Para las de mayor período (16 seg.) este efecto es más notorio que para las de período corto, provocando ésto que las primeras entren mas de frente que las de período corto. En las figuras 8 a 19 se muestra este efecto, y la localización de la malla chica con respecto a la malla grande se muestra en la figura 3.

Las figuras 20 a 31 muestran las ortogonales en la malla chica. Cada ortogonal se maneja como un problema propio, es decir, la dirección y posición de origen son variables de acuerdo con los datos de la malla chica. En estas mismas figuras (20 a 31) se ha marcado mayor densidad de ortogonales en la zona donde inciden en las proximidades de los terrenos de la UNAM en Mazatlán, que corresponden a la zona del Crestón Norte y Punta Vigía.

En la Tabla 9 se muestran los valores del coeficiente de altura para varios sitios de la playa centro-sur de Mazatlán. Estos están considerados en la isóbata de 5 m. y son el promedio de cuatro o cinco ortogonales que inciden en la zona que se indica.

Es de hacer notar que el oleaje del WNW, con período de 16 seg., aún entrando a la malla chica con un coeficiente de altura del orden de 0.7, logra, al acercarse a la costa, incrementar su coeficiente a valores cercanos al 1.5 para el Crestón Norte y Sur. Esto es entendible si se observa en la batimetría que la profundidad aumenta al sur del Crestón.

Los Dos Hermanos, islotes que están al oeste del Crestón, tienen una labor bastante clara en cuanto a proteger del oleaje las zonas atrás de ellos. Este efecto es más notorio en el oleaje del WNW con período de 8 seg. que para el caso de 16 seg.. En el primero, los islotes hacen sombra al Crestón Norte (terrenos de la UNAM, fig. 22), en el segundo a Punta Vigía (fig. 22). Cuando el oleaje proviene del

Sur la zona protegida es Olas Altas (figs. 30 y 31). Un hecho bien conocido es la playa de bolsillo que se forma y migra dentro de dicho lugar. En los meses de verano, caracterizado por poco oleaje del WNW y presencia del oleaje del Sur, la playa tiende a formarse en el lado NNE, mientras que durante el resto del año lo hace en el lado SSE.

En Olas Altas se recibe el oleaje con coeficiente de altura cercano a 0.8 para las tres condiciones de oleaje del WNW.

El oleaje del W, de  $T = 16$  seg., muestra concentración de energía en el Crestón Norte (Instituto), Acuario, Venados Sur y Norte. El de 12 seg. concentra energía en Venados y muy levemente en el Acuario.

El oleaje del SW de 12 seg. sólo muestra  $K_a = 1.4$  en Pájaros, y el de 8 seg en Punta Chile.

Los oleajes del Sur de 16, 12 y 8 seg. sólo rebasan el valor de  $K_a = 1$  en Punta Vigía, y en Acuario el de 16 y 12 seg.

El oleaje del Sur, de  $T = 16$  seg., se recibe con coeficiente cercano a 0.8 sólo en el Crestón Norte y en Isla Pájaros.

Las dos Islas, Pájaros y Venados, dan un abrigo de todas direcciones y períodos de oleaje estudiados a la zona entre Punta Codo y Punta Sábalo (zona hotelera).

Es claro ver en la Tabla 9 que al aumentar el período del oleaje del WNW de 8 a 12 y a 16 seg., el coeficiente de altura de ola aumenta tanto para el Crestón Norte como para el Sur.

La parte oeste del Crestón presenta ciertos atributos, de acuerdo con este estudio, que lo hacen sumamente susceptible a la disgregación y erosión costera. De los 12 casos de oleaje estudiado, sólo el de 12 y 8 seg. del S, el de 12 seg. del SW y el de 8 seg. del WNW entran con coeficientes de altura menores de 0.5. Para período de

oleaje de 16 seg. del WNW existe concentración de energía muy considerable (fig. 20). Tanto para el oleaje del Sur como para el del WNW, el ángulo de incidencia a la costa es menor de  $90^\circ$  con respecto a la línea de playa.

Una medida de la energía del oleaje que llega a la costa es el factor de flujo de energía,  $P_1$ , el cual depende sensitivamente de la altura de la ola. Puesto que en la naturaleza, la altura de ola varía de una ola a la siguiente, la densidad de energía promedio de un grupo de olas no estará determinada por la altura promedio, sino por una altura que produce el valor promedio de  $H^2$ , esto es, la altura media cuadrada,  $H_{RMS}$  (Galvin y Schweppe, 1980). La relación entre  $H_{RMS}$  y  $H_s$ , y como el valor de flujo de energía,  $P_1$ , es calibrado para utilizarse con  $H_s$ , está dada por estos mismos autores. No sólo el factor de flujo de energía, sino el trabajo de refracción del oleaje, tienen que ver con la distribución de la energía sobre la costa. Es por eso que se decidió utilizar la  $H_{RMS}$  como parámetro de relación entre los coeficientes de altura de ola.

Las mediciones de oleaje cumplieron la finalidad de poder hacer una leve comparación de alturas entre los distintos sitios de Mazatlán. Nos enfrentó al filtrado de frecuencias por efecto de medios de distinta velocidad (fondos someros), y a la variación del coeficiente de altura ( $K_a$ ) por efecto del oleaje de distinto período en un mismo sitio. Si bien, el coeficiente de correlación entre las  $H_{RMS}$  y los  $K_a$ 's, es bajo (0.53), sí manifiesta una relación, más notoria en los valores altos de  $H_{RMS}$  que en los bajos (fig. 42).

De acuerdo con los resultados de las mediciones de olas, la disminución de la altura de ola fué evidente, por ejemplo, entre el Crestón Sur, el Crestón Norte (instalaciones del Instituto) y Punta

Vigia; mientras que en el primero tiene coeficiente de altura de 1.0 el segundo lo tiene, igual que el tercero, de 0.4. Estos últimos con sombra formada por los Dos Hermanos. Otra zona donde la diferencia es bien marcada es entre Punta Arenilla, Punta Codo y Punta Camarón y la estación del Acuario. En los primeros es notoria la protección que dan las dos islas (Pájaros y Venados) a la zona hotelera; en la segunda el oleaje entra franco y concentrado.

El objetivo que me he fijado al calcular la sobre-elevación del nivel del agua (sena) y el oleaje de tormenta producidos por un huracán es, en primera instancia, tener una noción de la capacidad del huracán para elevar el nivel del agua y formar oleaje, en segunda, estudiar cómo se comporta el oleaje generado en aguas profundas al cruzar la plataforma continental.

En la historia de Mazatlán han sido pocos los huracanes que han entrado con suficiente proximidad para causar estragos en la población. Información recopilada de los lugareños indica que durante 1947 se presentó un huracán, que a su criterio fué el que más daños y víctimas ha causado. Durante 1957 se presentó otro huracán que aún mucha gente recuerda por sus fuertes vientos y por los daños que causó. El más reciente es el huracán "Olivia" (1975), del cual se tienen datos suficientes para calcular las condiciones físicas que generó. Otros huracanes recientes no han tenido la intensidad de los anteriores mencionados. Ejemplos de éstos son el huracán "Tico" en 1983, el "Norma" en 1981.

Existen dos métodos básicos para la predicción de valores extremos de una variable aleatoria; la primera aproximación es una extrapolación lineal de los valores relativamente cortos de períodos de

un registro para cubrir periodos de tiempo mayores; la segunda aproximación es la predicción de un evento extremo a partir de modelos estadísticos del proceso físico involucrado. El cálculo de la Sena, a partir de nomogramas, es una aproximación por este segundo método.

El hecho de haber calculado el radio de vientos máximos usando la ecuación 1 ( $R = \text{antilog}(50.20 \times 10^{-4} P_o - 3.18)$ ), permite utilizar este valor para los cálculos de la Sena y la ola máxima. El valor calculado de radio medio de vientos máximos está en el lugar 48 de 90 huracanes de la costa del Golfo de México y costa Este de los EUA (Springal, 1975).

El error que se incluye en una variación de R, radio mínimo, medio o máximo, es del orden del 5% en cuanto a sobre-elevación. Donde puede producirse una desviación mayor es en la distancia del centro del huracán, en el momento de entrar a tierra, al sitio donde realmente ocurra la sobre-elevación pico.

El cálculo del factor de somerización para ser aplicado a la Sena inicial, utilizando la gráfica 34, permite hacer una buena aproximación; si bien es claro que el coeficiente de somerización en la zona donde se calculó la Sena máxima es bajo, se puede apreciar que es por la cercanía de la isóbata de 18 m. a la costa.

La Sena máxima (6 pico) obtenida de 1.52 m. es baja comparada con las que se presentan en el Golfo de México, y se debe primordialmente, como se mencionó, a la proximidad a la costa de la isóbata de 18 m. Este valor no es de extrañar en la Costa Pacífica, dado que la escasa plataforma continental no favorece la Sena. Sorensen (1978) menciona que para la Costa Pacífica de los EUA. la Sena no es un factor determinante en el diseño de estructuras (allí, las Senas son causadas por borrascas), y Wiegel (1964) encuentra que para el Sur de California,



EUA., la máxima Sena es del orden de 0.15 m..

Es seguro que en zonas más al norte de Mazatlán, o al norte de Bahía de Banderas, donde la plataforma continental es más extensa, los valores de la Sena son considerables durante la presencia de un huracán. En el caso del Golfo de México, en general, se cuenta con una plataforma continental mucho más extensa, favoreciendo el desarrollo de una Sena mayor.

El objetivo del cálculo de la ola de tormenta surge del conocimiento de que toda estructura que se sitúa en la costa tendrá por fuerza que sentir este oleaje, y las estructuras diseñadas para soportarlo no fallarán, mientras que las otras lo harán. Por lo tanto, se puede decir que es inadecuado diseñar para una condición con un período de retorno igual a la vida útil de la estructura.

La probabilidad de encuentro, dada por  $E_p = 1 - (1 - 1/T_R)L$ , donde:  $E_p$  es la probabilidad de encuentro,  $L$  la vida de diseño y  $T_R$  el período de retorno (según Gaytwaite, 1981), nos permite conocer la probabilidad de que se presente el evento máximo para el cual se determinó un período de retorno.

Las ecuaciones iniciales para obtener la  $H_0$  y la  $T_0$  en aguas profundas, provienen del método SMB para el pronóstico de oleaje a partir de vientos generados por una perturbación estacionaria. Al respecto, Springal (1975) concluye en su trabajo sobre oleaje por huracanes en el Golfo de México: "para la deducción de las características del oleaje se utilizó el método SMB, que por disponer de mayor información se consideró representativo para la relación viento-oleaje".

Bretschneider (1952), basado en las gráficas de Sverdrup y Munk presenta gráficas para el cálculo de  $H_0$  y  $T_0$ , en este mismo trabajo se incluyen gráficas para evaluar el decaimiento de olas.

Cuando el huracán pasa sobre una parcela de agua, se tendrá que para cualquier longitud de fetch y velocidad de viento, hay una dura ción de viento después de la cual ningún incremento posterior en la altura del oleaje y período ocurren. Este tiempo limitante es el tiempo requerido para que el frente de energía asociado con las olas significativas avance a una velocidad de grupo variable, desde el inicio del fetch hasta el final del fetch, y al momento de entrar a tierra el huracán, tendrá toda la gama de frecuencias similar a la de aguas profundas.

El método para el cálculo de la altura de ola significante máxima no toma en consideración la diferencia entre el Sea y el Swell, pero, si se considera que las olas generadas siguen bajo la influencia del huracán hasta que éste toca la costa, es de suponer que los cálculos son para Sea y no para Swell.

Para el cálculo de la ola máxima se asume que el oleaje sigue la distribución de Rayleigh; es alentador tener la verificación del hecho que la distribución de Rayleigh es satisfactoria para obtener la variabilidad de la altura de ola bajo condiciones de huracanes. Para olas esbeltas y en aguas someras, las desviaciones de la distribución de Rayleigh no son tan grandes como ha sido postulado (Bretschneider, 1964).

Como se mencionó anteriormente, el método para la generación de ola significante máxima está desarrollado para fetch's cortos y velocidades de viento altas. Nunca se alcanza bajo condiciones de huracanes un mar completamente desarrollado (mcd). Toma mucho más tiempo a un fetch grande para alcanzar un mcd al 100% que para desarrollar un rango de 85 - 90%. Este hecho tiene que ser recordado cuando se considera la generación de olas por un huracán, y por lo tanto, con-

siderar que conforme el huracán se mueve sobre la plataforma continental, dos casos deben ser examinados, Primero, las olas generadas en un mar profundo se propagan hacia la costa como un swell bajo la continua influencia de los vientos huracanados y, segundo, las olas de viento (sea) seguirán siendo regeneradas conforme el huracán se acerca a la costa y comenzará a perder energía, mientras que el sea, con periodos más cortos, continuará creciendo y no sentirá fondo hasta que las olas sean suficientemente largas o estén cerca de la costa (la transferencia de energía es de las olas de frecuencia alta a las de frecuencia baja).

El método para el cálculo de la ola máxima generada por un huracán es utilizado para fines ingenieriles en el Golfo de México y la costa Este de los EUA. Su validez y aceptación parece buena ya que está publicado en diversas fuentes (Gaytwaite, 1981; Sorensen, 1978; USACERC, 1977, entre otros). Con lo que si existe algo de diferencia es con el acercamiento de la ola máxima generada por el huracán, hacia la costa sobre la plataforma continental.

Una diferencia a discutir es entre la fricción de un swell o sea, ambos de poca altura y muy frecuentes, y las olas generadas por un huracán. Si consideramos que la influencia de ambos hacia el fondo es una función de su periodo, entonces también el swell o sea de poca altura debiera sufrir fricción. La diferencia en el tratamiento de estos dos sistemas de oleaje definitivamente que es por la altura de ola y su interacción con el fondo debido a efectos friccionales, percolación, interacción ola-fondo (para fondos plásticos) y dispersión por irregularidades del piso marino (procesos ya mencionados por Cava Leri, 1982). Lo cierto es que el método propuesto por el USACERC (1977), es correcto en cuanto que a cada segmento del perfil que re-

corre la ola, le va disminuyendo la altura por efecto de fricción de una manera tal que es función de la altura.

La profundidad del agua y el ancho de la plataforma continental provocan considerable reducción de la altura de ola como un resultado de la fricción del fondo y rompientes. En cuanto más grandes las olas en aguas profundas, mayor será la cantidad de energía disipada que tenga lugar sobre la plataforma continental.

La fricción del fondo es la pérdida de energía como resultado del trabajo hecho por la velocidad orbital contra el esfuerzo cortante de las partículas del fondo.

Otros factores que pueden contribuir a algunas diferencias en las alturas de olas entre huracanes son: la extensión de la tormenta, la trayectoria y distancia con respecto a la estación de registro o sitio de interés (Bretschneider, 1964).

Otro método para el cálculo de la ola en aguas someras lo ha presentado Bea (1983). El principio es similar al propuesto por Bretschneider (1959) y USACERC (1977), y también es empírico. La diferencia básica radica en que el primero considera el tipo de fondo (lodoso, arenoso, con o sin rizaduras) para el cálculo de la fricción ejercida sobre la ola. Lo cierto es que este método propuesto por Bea, por ejemplo, también utiliza factores para corregir sus cálculos y calibrar su modelo con los datos de olas de huracanes, y considera estos factores como efectos de fricción.

Sin embargo, Bea encuentra que sólo la fricción del fondo, y no otro proceso, puede producir los modelos de atenuación consistentes con los datos de ola obtenidos de mediciones y observaciones.

De lo anterior se concluye que hasta la fecha, los estudios de fricción del oleaje siguen siendo un campo abierto a la investiga-

ción.

La altura significativa máxima calculada de 6,7 m., tiene un valor moderado. Bretschneider (1959) y Springal (1975) encuentran resultados similares para huracanes en el Golfo de México. Aunque los huracanes de estos dos autores tienen un índice de energía mayor (RAP), los efectos friccionales sobre la plataforma continental, por ser más extensa, son mayores.

La ola máxima obtenida para el huracán Olivia (1975) fué de 11.9 m., que es un valor razonable si se considera que el huracán fué de mediana magnitud. Considerando que el período de retorno de Olivia es de 20 años, Bea, para un período de retorno similar encuentra una altura de 13 m.

En el Golfo de México, según Bea (1983), la ola máxima se aproxima a los 21.3 m. (para 100 años). La variabilidad de sitio a sitio causada por la trayectoria del huracán, características del fondo, refracción, etc., pueden hacer que este valor varíe desde 15.2 hasta 27 m..

## VI.- CONCLUSIONES

El área de estudio se caracteriza por una batimetría regular y de suave pendiente, lo cual favorece el análisis de refracción, Se na y ola máxima. Los resultados obtenidos son comparativamente buenos.

El programa utilizado proporciona datos sobre el comportamiento de las ortogonales en la zona, y como primera aproximación da una idea de los sitios donde la playa está sujeta a oleaje relativamente severo o relativamente benigno, dependiendo esto de la con centración o dispersión de la energía. Además proporciona datos del ángulo de aproximación y del coeficiente de altura (producto del coeficiente de amortiguamiento por el de refracción; ver Tabla 9).

En general, para los oleajes estudiados, Mazatlán está situado en una zona de dispersión de energía. El Crestón Norte, donde se localizan las instalaciones de la UNAM, recibe, en promedio, el oleaje del WWW de  $T = 16$  seg. con un coeficiente de altura de 1.5; los oleajes de 8 y 12 seg. son detenidos por los dos islotes "Dos Hermanos" al Oeste del Crestón. El oleaje del Sur, de  $T = 16$  seg., arriba con un coeficiente de 0.8. La playa del Acuario en Mazatlán es de alta energía (figs. 20 a 31). Las alturas de ola medidas coinciden con los coeficientes de altura calculados.

Los métodos empíricos utilizados para el cálculo de la Sena y la altura de ola significativa, son métodos muy prácticos y muy difundidos. La solución de las ecuaciones que representan es compleja. La Sena pico calculada fué de 1.5 m., y la ola significativa generada por el Huracán Olivia fué de 6.7 m., El primer valor es

bajo, el segundo, moderado.

El Huracán Olivia (1975) fué de mediana intensidad comparado con otros en el Golfo de México. En relación a los huracanes en el Pacífico Tropical Oriental que han incidido en Sinaloa, y que se cuenta con datos, Olivia es el de mayor índice de energía, RAP.

## VIII.- RECOMENDACIONES

Es muy recomendable que para la zona de estudio se analice el comportamiento de las ortogonales, desde aguas profundas a la costa, a través de tres mallas, utilizando la de menor escala en la zona de interés.

Hace falta trabajo para estandarizar en el área de estudio las batimetrías realizadas por las diferentes Instituciones.

Son realmente muy pocos los datos sobre los fenómenos que causan daño a las poblaciones costeras. Es muy recomendable aumentar los sistemas de adquisición de datos tanto meteorológicos como oceanográficos. Las Instituciones, esencialmente, son las responsables de realizar esta tarea.



## VIII.- AGRADECIMIENTOS.

    Mi agradecimiento al M. en C. Yovani Montañó L. por su asesoría brindada durante todas las etapas del desarrollo de esta Tesis.

    A los M. en C. Francisco Ruiz Rentería y Mario Gutiérrez Estrada, Jefe de la Estación, por las facilidades otorgadas y la revisión de la Tesis.

    A los M. en C. Ignacio del Valle Lucero y Tomás Morales AcoItzi por la revisión de la Tesis.

    A Leonor Tripp Q. por la ayuda prestada durante la elaboración de la versión final de esta Tesis.

    A Alberto Castro del Río por todas sus atenciones y facilidades otorgadas desde el inicio de este trabajo

    A todos mis compañeros y amigos.

## IX.- LITERATURA CITADA.

- Acevedo Blanco, M. J. 1975. Situación del Huracán "Olivia" del 22 al 25 de octubre de 1975. Inédito. Fuerza Aérea Mexicana. Estación Meteorológica (Tipo B) de Mazatlán, Sin. Oficio número 599. Plan DN-III-E. México.
- Aziz Taifun, M. 1982. Parametric approach to wave forecasting. Jour. of the Waterways, Port, Coastal and Ocean Division. ASCE. Vol. 108 (WW3): 361-375. Aug. USA.
- Barber, N. F. and M. J. Tucker, 1962. Wind waves. In: Hill, M. N. (Ed.). The Sea: ideas and observations on progress in study of the seas. Interscience Publishers. 6th Ed. Chapter 19, p664-669. USA.
- Baum, R. A. 1975. Eastern North Pacific tropical cyclones, 1974; Part 1. Monthly Weather Review. Vol. 103 (April): 301-304. USA.
- Baum, R.A. 1976. Eastern North Pacific tropical cyclones of 1975. Monthly Weather Review. Vol. 104 (April): 475-488. USA.
- Bea, R. J. 1983. Hurricane wave heights and forces. Oil and Gas Jour. Technology. Sept. 12 - Nov. 7. USA.
- Bretschneider, C. L. 1952. The generation and decay of wind waves in deep water. Transactions, American Geophysical Union. Vol. 33; 381-389. Part 1. USA.
- Bretschneider, C. L. 1957. Reviews and abstracts. Transactions, American Geophysical Union. Vol. 38 (2): 264-266. USA.
- Bretschneider, C. L. 1959. Hurricane design wave practices. Transactions of the ASCE. Vol. 124:39-62. Paper 2965. USA.
- Bretschneider, C. L. 1960. Selection of design wave for offshore structures. Transactions of the ASCE. Vol. 125:388-426. Paper 3026. USA.
- Bretschneider, C. L. 1964. Investigation of the statistics of wave heights. Journal of the Waterways and Harbour Division, ASCE. Vol. 90 (WW1): 153-166. USA.
- Bretschneider, C. L. 1966. Engineering aspects of hurricane surge. In: Ippen, A. T. (Ed.). Estuary and coastline hydrodynamics. Engineering Societies Monographs. New York, N. J., Mc. Graw-Hill. 774p. Chapter 5, p231-256. USA.

- Cavaleri, L. 1982. Experimental characteristics of wind waves. In: Osborne, A. R. and P. Malonotte Rizzoli (Eds.). Procc. Int'1. School of Physics "Enrico Fermi". Topics in Ocean Physics. North Holland Publishing Co. 550p. Dinamarca.
- D. C. M. (Departamento Cartográfico Militar), 1958. Mazatlán, 13-QI. Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Geográfica de la República Mexicana. DCM. México.
- Freeman, Jr., J. C., L. Baer and G. H. Hung, 1957. The bathystrophic storm tide. Journal of Marine Research. Vol. XVI (1): 12-22. USA.
- Fuentevilla, A. A. 1983. Barogramas correspondientes a huracanes recientes. Inédito. Apdo. Postal 385. C. P. 82000. Mazatlán, Sin. México.
- Galvin, C. and C. R. Schweppe, 1980. The SPM energy flux method for predicting longshore transport rate. Department of the Navy. Coastal Engineering Research Center. Technical paper No. 80-4. USA.
- Gaywaite, J. 1981. The marine environment and structural design. Van Nostrand Reinhold Co. New York, N. Y. 313p. USA.
- Gunter, E. B. 1980. Eastern North Pacific tropical cyclones of 1979. Monthly Weather Review. Vol. 108 (May): 631-641. USA.
- Hastenrath, S. and W. M. Wendland, 1979. On the secular variation of storms in the Tropical North Atlantic and Eastern Pacific. Tellus. Vol. 31 (1): 28-38, Copenhagen, Denmark.
- Hurtado Nava, L. P. 1974. Algunos aspectos de la generación del oleaje en aguas profundas. Facultad de Ciencias. UNAM. Tesis de Licenciatura. México.
- Jarrel, J. D., C. J. Mauck and R. J. Renard, 1975. Forecasting tropical cyclone motion over the North Eastern Pacific Ocean by an analog scheme. Monthly Weather Review. Vol. 103 (Aug.): 674-684. USA.
- Jinsi, B. K. 1982. Designing, constructing shore approaches for submarine lines. Oil and Gas Journal. Technology. Nov. 1st. USA.
- Kinsman, B. 1966. Wind waves; their generation and propagation on the ocean surface. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, N. J., 616p. USA.

- Krumbein, W. C. 1947. Shore processes and beach characteristics. Beach Erosion Board. Corps of Engineers. Technical Memorandum No. 3. USA.
- Longuet-Higgins, M. S. 1952. On the statistical distribution of the heights of the sea waves. Jour. of Marine Research. Vol. XI(3):245-266. USA.
- Marinos, G. and J. W. Woodward, 1968. Estimation of hurricane surge hydrographs. Jour. of the Waterways and Harbour Division. ASCE. Vol. 94(WW2):189-216. Paper 5945. May. USA.
- Munk, W. H. and A. Traylor, 1947. Refraction of ocean waves: a process linking underwater topography to beach erosion. The Journal of Geology. Vol. 55(1):1-26. USA
- Neumann, G. and W. J. Pierson, Jr. 1966. Principles of physical oceanography. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J. 6th Ed. 545p. USA.
- Obasi, G. O. P. 1977. Structure of tropical cyclones. In: World Meteorological Organization (Ed.). Lectures on forecasting of tropical weather, including tropical cyclones, with particular relevance to Africa. Procc. of WMO Seminar, Dakar. Chapter 2. Nov. 1976. Publication Number: WMO No.-492. Switzerland.
- Pond, S. and G. L. Pickard, 1978. Introductory dynamical oceanography. Pergamon Press. Londres. 1st. Ed. 241p. England.
- Secretaría de Marina, 1974. Estudio geográfico de la región de Mazatlán. Sin. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. 355p. México.
- Secretaría de Marina, 1977. Carta Náutica S. M. 615. Mazatlán y proximidades. Esc. 1:12 500. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía. México.
- Herra, S. C. 1971. Hurricanes and tropical storms of the West Coast of México. Monthly Weather Review Vol. 99(4):302-308. April. USA
- Sorensen, R. M. 1978. Basic Coastal Engineering. John Wiley & Sons. Nueva York, N. J. 227p. USA
- Springall, R. G. 1975. Estudio y análisis estadístico del oleaje generado por huracanes en el surcosta del Golfo de México. Instituto de Ingeniería. UNAM. Publicación número 361. Diciembre. 223p. México.

- Towry, S. 1975. Eastern North Pacific tropical cyclones, 1974: Part 2. Monthly Weather Review. Vol. 103(Jun.):550-559. USA.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), 1975. Tablas de predicción de mareas. Puertos del Océano Pacífico. Parte B de los Anales del Instituto de Geofísica. Vol. 20. Apéndice 1. UNAM- Instituto de Geofísica. Depto. de Oceanografía. 367p. México.
- USACERC (U. S. Army Coastal Engineering Research Center), 1977. Shore Protection Manual. Vol. 1 y 3. USACERC. Department of the Navy. Corps of Engineers. 3rd Ed. Fort Belvoir, Virginia. USA.
- U.S. Naval Weather Service Comand, 1981. Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO). Central America Coastal Marine Areas. West Coast. Vol. 1; Area IV: Mazatlán, Sin. Period: 1963-1979. Ashville, N. C., USA.
- U. S. Oceanographic Office, 1974. Atlas of Sea and Swell Charts: North-eastern Pacific Ocean. U. S. Naval Oceanographic Office under the authority of the Secretary of the Navy. N. O. Pub. 799D. USA.
- Wiegel, R. L. 1964. Oceanographical Engineering. 6th. Ed. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, N. J. 532p. USA.
- WMO. No. 500, 1978. Present techniques of tropical storm surge prediction. Marine Science Affairs. Report No. 13. World Meteorological Organization. Publication number: WMO No. 500. Switzerland.
- WMO. No. 528, 1979. Operational techniques for forecasting tropical cyclone intensity and movement. World Weather Watch. WMO Tropical Cyclone Project. Subprojet Number 6. World Meteorological Organization. Publication Number: WMO No. 528. Switzerland.
- Worthington, H. W. and J. B. Herbich, 1970. A computer program to estimate the convined effects of refraction and diffraction of water waves. Texas A. and M. University. Sea Grant Program. TAMU-SG-70-219. COE report No. 127. USA
- Worthington, M. H. W. and J. B. Herbich, 1971. Computer prediction of wave heights in coastal areas. Third Offshore Technology Conference. Houston, Texas. Paper Number OTC-1427. April 19-21. USA

## ANEXOS

- I.- Teoría de la refracción.
- II.- Metodología para obtener los nomogramas utilizados para el cálculo de la Sena.
- III.- Programa "Redmar" para el cálculo de la refracción del oleaje; Descripción de las variables; Malla grande, Malla chica y muestra de salida.
- IV.- Alturas de ola estimadas y periodos medidos para ciertos puntos próximos a Mazatlán, Sin.
- V.- Tablas de  $H'/H_0$  como función de  $d/L_0$

## Anexo I.- Teoría de la refracción.

Si denotamos E la energía media por unidad de superficie, n la fracción de esta energía avanzando con la cresta de la ola a una velocidad C, y s la distancia entre ortogonales adyacentes. Entonces, si la energía se conserva entre ortogonales,

$$E_o n_o C_o s_o = E n C s = E_b n_b C_b s_b \quad A1$$

donde el subíndice "o" se refiere a condiciones de aguas profundas, por ejemplo, aguas en las cuales la profundidad excede la mitad de la longitud de onda, el subíndice "b" al punto de rompiente. La expresión sin subíndices generalmente se aplica a aguas someras, intermedias entre las aguas profundas y el punto de rompiente.

En aguas profundas la energía es proporcional al cuadrado de la altura de ola  $H_o$  de acuerdo con la ecuación:

$$E_o = \frac{1}{8} \rho g H_o^2 \quad A2$$

donde  $\rho$  es la densidad y g la aceleración debido a la gravedad. La misma aproximación se mantiene con corta diferencia en aguas someras:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad A2b$$

Sin embargo, cerca del punto de rompiente la forma de la ola se aproxima a aquella de la "onda solitaria", con crestas puntiagudas aisladas, separadas por valles planos y largos. Para olas solitarias la energía de las olas es proporcional al cubo de la altura de ola (Munk & Traylor, 1947) de acuerdo a la ecuación:

$$E_b = \frac{\rho g}{L_b} \left( \frac{4h_b H_b}{3} \right)^{3/2} \quad A2c$$

Combinando las dos primeras ecuaciones (A1 y A2) conseguimos la siguiente relación general para la altura de ola en aguas someras:

$$H_o = \left( \frac{n C s}{n_o C_o s_o} \right)^{-1/2} \quad A3$$

En aguas profundas solo la mitad de la energía, la energía potencial, avanza con la forma de la ola:

$$n_o = \frac{1}{2} \quad \text{A4a}$$

En la zona de rompientes ambas, cinética y potencial, viajan con las olas:

$$n_b = 1 \quad \text{A4b}$$

mientras que para aguas someras en general:

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right] \quad \text{A4c}$$

La ecuación A4c se reduce propiamente a las ecuaciones A4a ó A4b dependiendo de si el valor del cociente  $h/L$  tiene un valor grande o pequeño.

La velocidad de olas sinusoidales, irrotacionales, de baja amplitud, está dada por la clásica ecuación de Stokes:

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{A5a}$$

la cual para aguas profundas se reduce a la forma:

$$C_o^2 = \frac{gL_o}{2\pi} \quad \text{A5b}$$

Puesto que el período de la ola, definido como el cociente de la longitud de onda entre la velocidad de la ola, permanece constante

$$T = \frac{L_o}{C_o} = \frac{L}{C} = \frac{L_b}{C_b} \quad \text{A6a}$$

$$\delta \quad \frac{C}{C_o} = \frac{L}{L_o} \quad \text{A6b}$$

Dividiendo A6a entre A5b y haciendo uso de A6b se consigue:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{L}{L_o} = \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{A7}$$

La ecuación A7 puede también ser escrita:



$$\frac{L}{L_0} = \tanh \left[ 2\pi \frac{h}{L_d} \left( \frac{L}{L_0} \right)^{-1} \right]$$

A7'

la cual es una ecuación de la forma

$$\frac{L}{L_0} = \text{función} \left( \frac{h}{L_0} \right)$$

A8

El cociente  $h/L_0$  es llamado "profundidad relativa". Se sigue de las ecuaciones A7 y A8 que el cociente  $\frac{C}{C_0}$  es una función de la profundidad relativa solamente. De una manera similar puede ser demostrado que el cociente  $\frac{n}{n_0}$  es una función de la profundidad relativa.

Así, la ecuación A3, la cual puede ser escrita:

$$\frac{H}{H_0} = \left( \frac{n}{n_0} \frac{C}{C_0} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{g_0}{g}}$$

A9

consiste de dos partes; la primera parte, la cual depende de la profundidad relativa y no contribuye hacia una variación en la altura de la ola a lo largo de cualquier contorno fijo (isóbata), y la segunda parte, el coeficiente de refracción, de acuerdo con el cual cualquier variación en la altura de la ola a lo largo de la playa fuera de la zona de rompiente debe ser proporcional a la raíz cuadrada de  $\frac{g_0}{g}$ .

Para encontrar la expresión correspondiente para las rompientes, conviene el primero y tercer término de la ecuación A1 y A2:

$$\frac{C_0}{2} \frac{1}{8} H_0^2 s_0 = \frac{C_b}{L_b} \left( \frac{4}{3} \frac{h_b}{H_b} \right)^{\frac{3}{2}} s_b$$

donde se ha hecho uso de la ecuación A4a y A4b. En vista de A6a, esta ecuación anterior puede ser escrita:

$$h_b H_b = \frac{3}{4} \left( \frac{1}{16} \right)^{\frac{2}{3}} \left( H_0^2 L_d \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{g_0}{g} \right)^{\frac{2}{3}}$$

A10

De acuerdo con la teoría sustentada por experimentos con olas solitarias:

$$h_b = 1.28 H_b$$

A11

la ecuación A10 se transforma:

$$\frac{H_b}{H_o} = \frac{1}{3.3 \sqrt[3]{\frac{H_b}{L_o}}} \sqrt[3]{\frac{S_o}{S}} \quad A12$$

Cualquier variación en la altura de la ola debe ser proporcional a la raíz cúbica de  $\frac{S}{S_o}$ . El cociente  $H_o/L_o$  es llamado esbeltez de la ola en aguas profundas. La ecuación A12 y la discusión anterior se mantienen estrictamente solo para olas con esbeltez menor de 1% (por ejemplo swell), pero es aproximadamente verdadero para todas excepto para las muy esbeltas olas de tormenta.

#### Bibliografía.

Munk, Walter h & Melvin A. Traylor, 1947  
 Refraction of ocean waves: A process linking underwater topography to beach erosion.  
 The Journal of Geology. Vol. LV(1):1-26. USA.

ANEXO II.- Metodología para obtener los nomogramas utilizados para el cálculo de la Sena.

El modelo matemático (Dinger, 1970) SPLASH ha sido especializado para preparar tres nomogramas para rápidamente averiguar el surgimiento pico sobre la costa abierta de los EUA para tormentas que entran a tierra. Los nomogramas fueron diseñados después de los modelos empíricos que fueron desarrollados anteriores a los avances en los cálculos numéricos con grandes computadoras.

De acuerdo con WMO No. 500 (1978), el desarrollo de los nomogramas es el siguiente: Conner et al diseñaron un modelo empírico simple para pronosticar surgimientos de tormenta. En este modelo las mareas máximas observadas son graficadas contra las presiones centrales más bajas ( $P_0$ ) y entonces la línea de mejor ajuste es encontrada. El coeficiente de correlación para 30 datos fué de 0.68. Los datos son sólo para el Golfo de México, donde la marea astronómica es extremadamente baja. Esencialmente el modelo asume que todas las tormentas son iguales excepto para la presión central, que todas las tormentas entraron a la costa por el mismo camino relativo y que los contornos de profundidad de todas las costas son los mismos.

Harris expandió este modelo a tormentas que tocaban tierra en la Costa Este y en las costas del Golfo. Removió la anomalía del cambio del nivel del agua estacional, mientras era posible, de los surgimientos observados. También consideró como parámetros la presión de la tormenta en la periferia, la medida de la tormenta, el vector del movimiento de la tormenta y la distancia de la isobata 90 m. (50 brazas) a la costa. Para los datos disponibles, encontró variaciones sistémicas del surgimiento con dos parámetros: la presión central y la dis-

tancia de la isóbata 90 m. (50 brazas) a la costa. Su correlación para 52 datos fué de 0,75.

La descripción de un esquema de pronóstico objetivo sólo para el surgimiento pico, el cual refleje los modelos empíricos anteriores, será hecha a través de pre-cálculos en los cuales el modelo SPLASH se usará. Aquí, el tamaño R de la tormenta juega un rol menor, exactamente como en el modelo como en el modelo de Harris; pero la batimetría y el vector de movimiento de la tormenta juegan papeles importantes. Para referencia, cuando se usan los nomogramas, dos definiciones son hechas.

Cuenca Estandar: Una cuenca con línea de costa recta, en la cual el perfil de profundidades hacia el mar es unidimensional. La profundidad en la costa es 4.5 m. (15 ft) y la pendiente es 0.5 m/km.

Movimiento estandar de Tormenta: Un movimiento de tormenta con una velocidad de  $7 \text{ ms}^{-1}$  (15 Knot) y una trayectoria normal a la costa desde el mar hacia la tierra. La tormenta debe moverse sobre tierra. Este movimiento puede ser considerado un movimiento hipotético medio paratodas las tormentas.

a).- Número preliminar para el surgimiento pico:

Harris en su modelo empírico encontró poca variación del surgimiento con la presión exterior de la tormenta  $P_n$  y la colocó como constante. En el modelo SPLASH,  $P_n$  no necesita ser constante. La presión que se usa es 1012 mb. Para desarrollar un esquema inicialmente diseñado por los modelos empíricos, el modelo dinámico (vía computadora) es interrogado preliminarmente con: cuáles son los surgimientos máximos obtenidos con las siguientes restricciones:

1) Hay unos conjuntos de tormentas; en cada conjunto, el radio de máximos vientos es constante.

2) En cada conjunto de tormentas, sólo la depresión  $P = P_n - P_o$  es variada.

3) Todas las tormentas tienen movimiento estandar.

4) Todas las tormentas atraviezan una cuenca estandar.

5) Todas las tormentas tocan tierra en  $30^\circ N$ .

La respuesta de la computadora a esta cuestión está mostrada en la figura 33 (ver Texto: primer nomograma). Entrando al nomograma con el argumento  $AP$  y  $R$  un número preliminar es obtenido.

Posteriormente este número será revisado sin incluir las restricciones 3 a 5. En su presente forma, sin embargo, el número preliminar puede ser usado como una estimación cruda del surgimiento pico. Cuando fué correlacionado con los surgimientos en la costa de EUA, dió una correlación de 0.54 (nótese que el nomograma no usa toda la información disponible como trayectoria de la tormenta, cuenca, y no es tan eficiente predictor como el modelo empírico de Conner et al y el de Harris.

Entendiendo el nomograma, sin embargo, da una mejor idea del surgimiento. Para  $R$  constante, cada curva es aproximadamente una línea recta que pasa por el origen; esto significa que el surgimiento pronosticado tiene un error relativo de  $P/AP$ , donde  $P$  es una variación de error en la depresión. Por ejemplo, un error de 1 mb en la depresión de 100 y 50 mb da un error en el surgimiento de tormenta de 1 y 2% respectivamente. Si  $AP$  es constante, el surgimiento es más o menos independiente sobre  $R$  de acuerdo como  $AP$  sea pequeño o grande (esto es, el surgimiento pico es casi conservativo con respecto a  $R$ ). Este es una muy útil propiedad porque  $R$  es difícil de averiguar. La figura 33 fué diseñada para enfatizar el surgimiento pico como una función del tamaño de la tormenta para una depresión constante.

Tormentas muy pequeñas, de R menor de 16 km (10 millas), tormentas mayores de 80 km (50 millas) y tormentas extratropicales no son utilizadas. Tales tormentas presentan dificultades técnicas que el modelo dinámico SPALSH no pudo superar. La información restante acerca de cuencas reales y trayectoria de tormentas puede ser utilizada para corregir el número preliminar para mejorar el pronóstico.

b).- Corrección por profundidades in situ.

Cuando una tormenta cruza la plataforma continental un factor efectivo es la batimetría o la pendiente de la plataforma. Harris empíricamente encontró una variación sistemática en el surgimiento con las variaciones en la distancia a la isóbata de 90 m. (50 brazas) desde la costa. Para ver cómo la batimetría en el modelo afectaba el surgimiento costero, y también cómo corregir por esta afectación en cualquier cuenca, una segunda interrogante es dirigida al modelo SPLASH vía la computadora. Si uno está dando 4 tormentas (dos en el Golfo y 2 en la costa este de los EUA), con las siguientes restricciones:

- 1) Cada tormenta tiene su R y su AP invariante.
- 2) Todas las tormentas tienen el mismo movimiento estandar.

¿Cuál es cociente (factor de somerización,  $F_s$ ) del surgimiento pico en cualquier punto a lo largo de la costa de los EUA a aquél del surgimiento pico de una cuenca estandar localizada a  $30^{\circ} N7$ .

La computadora contestó las figuras A II a y b, donde aparece la relación del factor de somerización con respecto a la batimetría de la cuenca.

Las curvas de somerización fueron desarrolladas para aplicación directa en las costas de los EUA. Pueden, desde luego, ser aplicadas en otras áreas indirectamente; esto requiere una comparación de

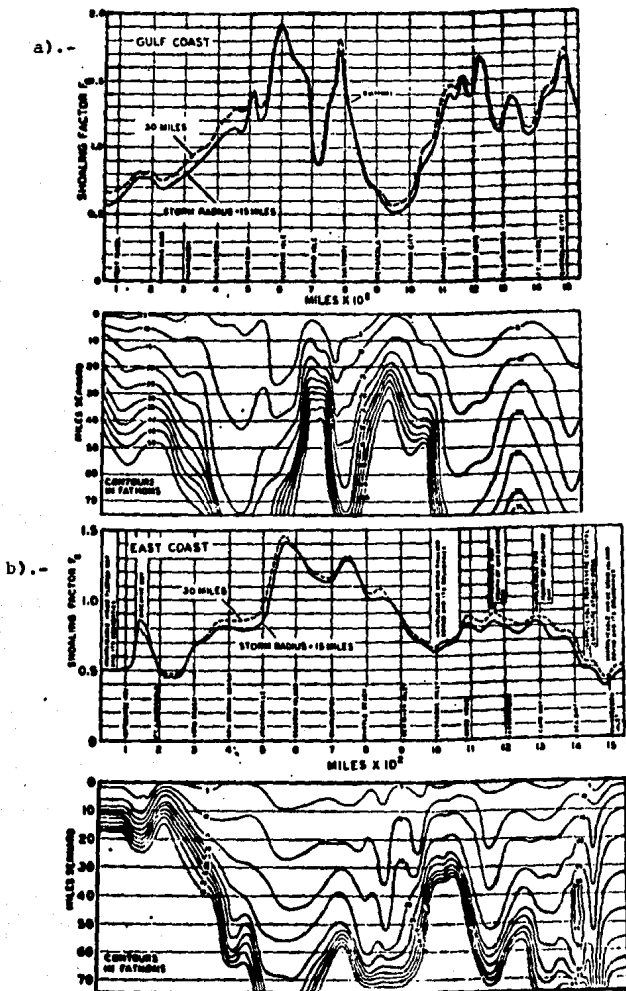


Fig. A II.- Nomogramas para obtener el factor de somerización (a) en la costa del Golfo de México de los EUA y (b) en la costa este de los EUA (WMO No. 500, 1978).

los distintos perfiles de profundidad con los contornos de la figura A II a y b.

El segundo nomograma (fig. A II) es usado con el primero (fig. 33) para determinar el surgimiento pico esperado.

Para diferentes restricciones, el cociente o factor de somerización  $F_s$  variará; pero la variación en la mayoría de los casos, pero no en todos, será pequeña.

El factor de somerización es una herramienta de trabajo pragmática para corregir por batimetría local. El número preliminar obtenido a partir del primer nomograma es multiplicado por el factor de somerización ( $F_s$ ) del segundo nomograma.

Si el número preliminar, revisado por somerización, es correlacionado con los valores de surgimiento observados en los EUA, el coeficiente de correlación es 0.68, una mejora significativa comparado con el número preliminar. Para la segunda de las correcciones al número preliminar, quitamos la restricción de movimiento estandar de la tormenta en la siguiente sección.

c).- Corrección por el vector de movimiento de la tormenta in situ:

Harris encontró variaciones sistemáticas del surgimiento para los dos parámetros,  $P_0$  y una cruda estimación de la batimetría. Su distribución de puntos de datos fué inadecuada para permitirle derivar variaciones sistemáticas para el vector de movimiento de la tormenta. Para el modelo americano SPLASH, la trayectoria de la tormenta influye en la generación del surgimiento de tormenta. Ahí existe un movimiento crítico relativo a la costa, dando el surgimiento más alto posible bajo cualquier arreglo de condiciones dadas. La velocidad crítica generalmente es mayor de 13 m/seg. (25 nudos); será menor sólo cuando tormentas excepcionalmente pequeñas, o en cuen



cas excepcionalmente someras. Las tormentas que tocan tierra raramente consiguen una velocidad crítica. Para corregir por el efecto del vector de movimiento en surgimientos costeros, una tercera pregunta es dirigida al modelo dinámico SPLASH vía la computadora. Si una tormenta viajando en cualquier dirección y a cualquier velocidad relativa a la costa, y con estas restricciones:

- 1) Todas las tormentas tienen  $R = 36$  km (22.5 millas) y  $AP=62$  mb
- 2) Todas las tormentas atraviezan una cuenca estandar.

¿Cuál es el cociente del surgimiento pico generado a aquél generado por una tormenta con movimiento estandar?

La respuesta de la computadora a esta cuestión, en términos del cociente de movimiento  $F_m$ , está dado en la figura 35. Los recuadros definen una dirección  $\theta$ , el ángulo de la trayectoria de la tormenta relativo a la costa. Para orientación, el observador está colocado sobre la costa con su lado derecho hacia el mar, el izquierdo hacia tierra y con la cara a la dirección  $0^\circ$ .  $\theta$  se mide a favor de las manecillas del reloj desde la costa hasta la trayectoria, donde ésta termina. La figura es sólo especulativa para tormentas que cruzan la costa con ángulos agudos pequeños. El producto de  $S_T$  y  $F_s$ , obtenido en los primeros nomogramas es multiplicado por  $F_m$ . Si el número preliminar, revisado por somerización y por movimiento de la tormenta, es correlacionado con los valores de surgimiento de tormenta en los EUA, la correlación es de 0.85, una mejora significativa comparada con el número preliminar únicamente.

-Comentarios sobre la aproximación del surgimiento pico con la técnica de nomogramas:

Algunas de las limitaciones cuando se usan nomogramas preconstruídos para pronosticar el surgimiento pico son las siguientes:

a).- Localización del surgimiento pico en la costa.

Si la trayectoria de la tormenta es aproximadamente normal a la costa, entonces el surgimiento pico ocurrirá a una distancia aproximadamente igual a  $R$  a la derecha de donde entró el huracán (viendo desde el mar). Esta regla es un criterio de trabajo, aunque pensando que la posición del surgimiento pico variará por dos razones:

- 1) La distancia de entrada a tierra al surgimiento pico (llamada  $D_s$ ), es una función del vector de movimiento de la tormenta relativo a la costa.
- 2) Si la batimetría local varía considerablemente alrededor del punto de entrada, entonces  $D_s$  también varía.

No se hace el intento de corregir por estos dos fenómenos ( u otros más apropiados). Las interrelaciones son demasiado complicadas para una expresión conveniente. Una posición de entrada de huracán sobre una porción empinada de la curva de somerización, sirve para distorsionar y alargar el perfil de surgimiento y relocalizar el surgimiento pico sobre la costa. Esto es porque las curvas separadas de somerización para dos tamaños de tormenta no coinciden exactamente. Así, cuando se usen nomogramas, la determinación del surgimiento pico puede estar significativamente en error. Generalmente, el error absoluto ( $D_s - R$ ), no es grande comparado con  $R$ . Más importante es el hecho que el error de predicción de entrada del huracán en muchos casos es mucho más grande que  $D_s - R$ .

b).- Corrección por variaciones de latitud.

Las variaciones de surgimiento de tormenta debidas a variaciones de latitud es generalmente menor del 10% para tormentas que al-

canzan la tierra entre los 15 y 45° N. Debido a esta pequeña variación a ambos lados de la latitud 30° N, correcciones por latitud fueron incorporadas directamente con las curvas de somerización de la figura 33. La corrección incorporada no es exacta cuando la tormenta es mucho muy diferente de la tormenta usada en la figura, pero el signo de la corrección siempre es el adecuado. Para AP y R constantes, la velocidad del viento disminuye (o aumenta) al incrementarse (disminuirse) la latitud. Estos efectos son debidos a la variación del parámetro de coriolis con la latitud. Es de alguna consecuencia, ya sea que usemos un viento máximo fijo o una depresión fija cuando calculamos los factores de somerización para la figura A II. El nomograma tipo que incorpora cambios en la latitud en la mayoría de los casos, las presiones son más fácilmente acertadas que el viento; por eso, AP es fija y a los vientos se les permite variar con la latitud; el usuario no necesita preocuparse con los vientos; en lugar de eso, usa la depresión en o cerca del tiempo de entrada a tierra (los efectos del viento son tomados en cuenta automáticamente).

Los tres nomogramas, figuras 33, 34 y 35 forman un sistema ad-hoc para la rápida determinación de números útiles para el surgimiento de tormenta. Estos nomogramas no son independientes, mientras que generalmente son sólo ligeramente interdependientes. La dependencia en instancias aisladas es suficientemente significativa para conducir a errores medibles en el surgimiento pico observado. Los nomogramas trabajan mejor cuando la trayectoria y la cuenca no son muy diferentes de las estandar.

Ref.: WHO No. 500, 1978. Presents Techniques of Tropical storm surge prediction. Marine Science Affairs. Report No. 13. World Meteorological Organization. Pub. No. WHO No. 500. Switzerland.

**ANEXO III .- Programa "Redmar" para el cálculo de la refracción del oleaje. Descripción de las variables. Malla chica, malla grande y anexo a malla grande. Muestra de salida (output).**











## REDSEA VARIABLE DESCRIPTIONS

ALPH(L) angle of wave approach with X axis

ALPHLD angle of wave approach expressed in degrees

BETA(L) coefficient of spread between adjacent orthogonals

BWANG angle of breakwater with X axis

BWDX length of breakwater projected on X axis

BWDY length of breakwater projected on Y axis

C(I,J) wave celerity at grid point I,J

CR coefficient of refraction

CX(I,J) derivative of celerity with respect to X at grid point I,J

CY(I,J) derivative of celerity with respect to Y at grid point I,J

C2X(I,J) second derivative of celerity with respect to X at grid point I,J

BELT unit time along an orthogonal

DEP actual depth in feet

D(I,J) water depth at grid point I,J

DXDB X distance between point L and breakwater butt

DYDB Y distance between point L and breakwater butt

E(L) interpolated celerity between grid points

F(L) interpolated depth between grid points

GAMA(L) derivative of ALPH(L) with respect to time at point X(L), Y(L)

GO-S interpolation coefficients

I unit length along X axis

IGD problem number counter

IR a position indicator switch, incremented when an orthogonal passes breakwater tip

IX integer portion of number X(L)

IY integer portion of number Y(L)

J unit length along X axis

JT switch factor within program

K orthogonal number counter

L point number along orthogonal

LANG angle with X axis as initial line and line from breakwater butt to point L as terminal line

M maximum value of I

N maximum value of J

NC point number counter along orthogonal

NOP number of problems to be executed

PWTIP permanent storage location for wave height at tip

PI revised estimate of celerity

PO preliminary estimate of celerity

QM maximum value of an orthogonal origin

RSW radial orthogonal indicator

SP grid spacing

T(L) elapsed time from orthogonal origin to point L

TH wave period

THLTP temporary storage location for wave height at tip

TWANG temporary storage location for wave angle at tip

UK            unit perpendicular grid spacing between orthogonal  
              origins

V(L)         wave height coefficient at point L

X(1), Y(1)   origin coordinates of initial orthogonal

XD, YD       coordinates of point L transposed to diffraction  
              coefficient coordinate system

W(L)         shoaling coefficient at point L

WLX         wave length used in diffraction coefficient computation

WVANG        wave angle with breakwater

WVANGD      wave angle with breakwater in degrees

Malla chica de 62 x 116 datos. El número a la izquierda de los datos indica la cobertura de la matriz en la siguiente forma:

(1)	(1,1) (1,14) (62,1) (62,14)	(6)	(1,71) (1,84) (62,71) (62,84)
(2)	(1,15) (1,28) (62,15) (62,28)	(7)	(1,85) (1,98) (62,85) (62,98)
(3)	(1,29) (1,42) (62,29) (62,42)	(8)	(1,99) (1,112) (62,99) (62,112)
(4)	(1,43) (1,56) (62,43) (62,56)	(9)	(1,113)(1,116) (62,113)(62,116).
(5)	(1,57) (1,70) (62,57) (62,70)		

Ubicación geográfica de algunos puntos de la malla chica.

(i,j)	Lat. N	Long. W
(15.4,31.3)	23° 10'	106° 27'
(13.5,71.8)	23° 12'	106° 29'
(36.4,13.8)	23° 10'	106° 25'
(34.5,54.2)	23° 12'	106° 27'
(32.5,94.5)	23° 14'	106° 29'
(53.6,76.9)	23° 14'	106° 27'

42	41.7	41.3	41	40.6	40.3	39.9	39.6	39.2	38.9	38.5	38.2	37.8	37.5
41.3	41.3	40.3	40.3	40.3	39.4	39.4	39.4	39.4	38.4	38.5	37.5	37.5	37.5
40.6	40.6	39.6	39.6	39.6	38.7	38.7	38.7	38.7	37.8	37.9	37	37	37
39.9	39.9	39	39	39	38.1	38.1	38.1	38.1	37.2	37.4	36.5	36.6	36.4
39.2	39.2	38.3	38.3	38.3	37.4	37.4	37.5	36.7	36.7	36.1	36.1	35.9	35.9
38.5	38.5	37.6	37.6	37.6	36.8	36.8	36.8	36.1	36.3	35.6	35.6	35.3	35.4
37.8	37.8	36.9	36.9	36.9	36.1	36.2	36.2	35.5	35.8	35.1	35.1	34.8	34.9
37.1	37.1	36.3	36.2	36.2	35.5	35.5	35.6	34.9	35.2	34.6	34.7	34.3	34.4
36.4	36.4	35.6	35.5	35.5	34.8	34.9	35	34.3	34.7	34.1	34.2	33.8	33.9
35.7	35.7	34.9	34.9	34.9	34.2	34.2	34.3	33.7	34.2	33.6	33.7	33.2	33.3
35	34.9	34.2	34.2	34.2	33.5	33.6	33.7	33.2	33.6	33.1	33.2	32.7	32.8
34.3	34.2	33.5	33.5	33.5	32.9	33	33.1	32.6	33.1	32.6	32.8	32.2	32.3
33.6	33.5	32.9	32.8	32.8	32.2	32.3	32.4	32	32.6	32.2	32.3	31.6	31.8
32.9	32.8	32.2	32.1	32.1	31.6	31.7	31.8	31.4	32	31.7	31.8	31.1	31.3
32.2	32.1	31.5	31.5	31.5	30.9	31.1	31.2	30.8	31.5	31.2	31.3	30.6	30.8
31.5	31.4	30.8	30.8	30.8	30.3	30.4	30.5	30.2	30.9	30.7	30.9	30	30.2
30.8	30.7	30.2	30.1	30.1	29.6	29.8	29.9	29.6	30.4	30.2	30.4	29.5	29.7
30.1	30	29.5	29.4	29.4	29	29	29.1	29.3	29.1	29.9	29.7	29.9	29.2
29.3	29.3	28.8	28.7	28.7	28.3	28.5	28.6	28.5	29.3	29.2	29.4	28.4	28.7
28.6	28.6	28.1	28	28	27.7	27.9	28	27.9	28.8	28.8	29	27.9	28.2
27.9	27.9	27.5	27.4	27.4	27.1	27.2	27.4	27.3	28.3	28.3	28.5	27.4	27.7
27.2	27.2	26.8	26.7	26.7	26.4	26.4	26.6	26.7	27.7	27.8	28	26.8	27.1
26.5	26.5	26.1	26	26	25.8	25.9	26.1	26.1	27.2	27.3	27.5	26.3	26.6
25.8	25.8	25.4	25.3	25.3	25.1	25.3	25.5	25.6	26.7	26.8	27	25.8	26.1
25.1	25.1	24.7	24.6	24.6	24.5	24.7	24.9	25	26.1	26.3	26.6	25.3	25.6
24.4	24.4	24.1	24	24	23.8	24	24.2	24.4	25.6	25.8	26.1	24.7	25.1
23.7	23.7	23.4	23.3	23.3	23.2	23.4	23.6	23.8	25	25.4	25.6	24.2	24.6
23	23	22.7	22.6	22.6	22.5	22.7	23	23.2	24.5	24.9	25.1	23.7	24
22.3	22.3	22	21.9	21.9	21.9	22.1	22.3	22.6	24	24.4	24.7	23.1	23.5
21.6	21.6	21.4	21.2	21.2	21.2	21.5	21.7	22	23.4	23.9	24.2	22.6	23
20.9	20.8	20.7	20.5	20.5	20.6	20.8	21.1	21.5	22.9	23.4	23.7	22.1	22.5
20.2	20.1	20	19.9	19.9	19.9	20.2	20.4	20.9	22.4	22.9	23.2	21.5	22
19.7	19.7	19.6	19.5	19.5	19.5	19.7	19.7	20.3	21.8	22.4	22.8	21	21.4
19.3	19.3	19.2	19.1	19.1	19.1	19.2	19.4	19.8	21.3	21.9	22.3	20.5	20.9
18.9	18.9	18.8	18.7	18.7	18.7	18.8	19	19.3	20.8	21.5	21.8	21	20.4
18.5	18.5	18.4	18.3	18.2	18.2	18.3	18.5	18.9	20.2	21	21.3	20	21
18.1	18.1	17.9	17.9	17.8	17.8	17.9	18	18.4	19.7	20.5	20.9	23	20
17.7	17.6	17.5	17.4	17.4	17.4	17.4	17.6	17.9	19.1	20	20.4	23	22
12.3	17.2	17.1	17	17	17	17	17.1	17.5	18.6	19.4	19.8	19.8	19.5
16.9	16.8	16.7	16.6	16.6	16.5	16.5	16.6	17	18	18.7	19.1	19	18.6
16.4	16.4	16.3	16.2	16.2	16.1	16	16.2	16.5	17.5	18.1	18.3	18.2	17.8
16	16	15.9	15.8	15.7	15.7	15.6	15.7	16.1	16.9	17.4	17.6	17.4	16.9
15.6	15.6	15.5	15.4	15.3	15.3	15.1	15.3	15.6	16.4	16.8	16.9	16.6	16.1
15.2	15.2	15.1	15	14.9	14.8	14.7	14.8	15.1	15.8	16.2	16.1	15.7	15.2
14.8	14.8	14.7	14.6	14.5	14.4	14.2	14.3	14.6	15.3	15.5	15.4	14.9	14.4
14.4	14.4	14.3	14.2	14.1	14	13.8	13.9	14.2	14.7	14.9	14.6	14.1	13.5
14	14	13.9	13.7	13.6	13.5	13.3	13.4	13.7	14.2	14.2	13.9	13.3	12.6
13.6	13.5	13.4	13.3	13.2	13.1	12.9	12.9	13.2	13.6	13.6	13.1	12.5	11.8
13.2	13.1	13	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.8	13.1	12.9	12.4	11.6	10.9
12.8	12.7	12.6	12.5	12.4	12.3	12	12	12.3	12.5	12.3	11.7	10.8	10.1
12.4	12.3	12.2	12.1	12	11.8	11.5	11.6	11.8	12	11.7	10.9	10	8.9
12	11.9	11.8	11.7	11.5	11.4	11	11.1	11.4	11.4	11	11.0	9.2	7.6
11.6	11.5	11.4	11.3	11.1	11	10.6	10.6	10.9	10.9	10.4	9.5	8.1	6.9
11.1	11.1	11	10.9	10.7	10.6	10.1	10.2	10.4	10.3	9.3	8.3	7	5.9
10.7	10.7	10.6	10.5	10.3	10.1	9.1	9	9.8	9.3	7.6	7.2	6	4.9
10.3	10.3	10.2	10	9.6	8.9	7.9	7.5	7.9	7	5.9	6.1	4.8	3.5
9.8	9.4	8.9	8.5	7.9	7.3	6.6	6	5.7	4.7	4	4.1	3.3	1.7
7.7	7.4	7	6.7	6.3	5.8	5.4	4.7	4	2.7	2.1	2	1.6	0
5.6	5.4	5.1	4.8	4.3	3.8	3.5	2.3	2.1	1.2	.3	0	0	0
2.7	2.5	2.5	2.3	1.9	1.3	.8	0	0	0	0	0	0	0
.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1)

















33.8	34	34.1	34.3
33.1	33.3	33.4	33.6
32.5	32.6	32.7	32.9
31.8	32	32	32.2
31.1	31.3	31.3	31.5
30.4	30.6	30.7	30.8
29.8	29.9	30	30.1
29.1	29.2	29.3	29.4
28.4	28.5	28.6	28.7
27.7	27.9	27.9	28
27.1	27.2	27.2	27.3
26.4	26.5	26.5	26.6
25.7	25.8	25.8	25.8
25	25.1	25.2	25.1
24.4	24.4	24.5	24.4
23.7	23.8	23.8	23.7
23	23.1	23.1	23
22.4	22.4	22.4	22.3
21.7	21.7	21.7	21.6
21	21	21	20.9
20.3	20.3	20.3	20.2
19.8	19.8	19.8	19.8
19.5	19.5	19.5	19.5
19.2	19.2	19.2	19.2
18.9	18.9	18.8	18.9
18.6	18.6	18.5	18.6
18.3	18.3	18.2	18.2
18	17.9	17.8	17.9
17.7	17.6	17.6	17.6
17.4	17.3	17.3	17.3
17.1	17	16.9	17
16.8	16.7	16.6	16.7
16.5	16.4	16.3	16.4
16.2	16.1	16	16.1
15.8	15.7	15.7	15.7
15.5	15.4	15.3	15.4
15.2	15.1	15	15.1
14.9	14.8	14.7	14.8
14.6	14.5	14.4	14.5
14.3	14.2	14.1	14.2
14	13.8	13.8	13.9
13.7	13.5	13.4	13.6
13.4	12.2	13.1	13.2
13.1	12.9	12.8	12.9
12.8	12.6	12.5	12.6
12.5	12.3	12.2	12.3
12.2	11.9	11.9	12
11.8	11.6	11.5	11.7
11.5	11.3	11.2	11.4
11.2	11	10.9	11.1
10.9	10.7	10.6	10.8
10.6	10.4	10.3	10.5
10.3	10.1	10	10.1
10	9.8	9.2	9.7
9	8.5	8.4	8.8
8	7.7	7.6	7.9
7	6.8	6.8	7.1
6	6	6	6.2
5.1	5.2	5.2	5.3
1.6	1.8	1.8	1.9
0	0	0	0
0	0	0	0



(1,29)

923	930	928	926	924	918	912	903	895	886	886	881	873	864
862	868	864	861	857	850	845	837	830	822	822	816	808	799
801	805	800	795	789	782	777	770	764	758	758	751	744	734
740	743	736	729	722	715	709	703	698	694	694	686	679	669
679	680	672	663	654	647	642	637	632	629	629	621	614	604
618	618	608	597	586	580	574	570	566	565	565	556	549	539
557	555	544	532	519	512	507	503	501	501	501	495	485	473
494	494	486	475	470	462	457	450	450	446	446	435	424	412
444	440	435	424	419	411	404	397	395	387	387	375	363	351
391	386	384	373	368	359	352	345	341	328	328	315	302	289
337	333	333	322	317	307	299	292	286	269	269	255	240	228
284	279	282	261	267	255	246	239	232	211	211	199	194	194
230	226	232	220	216	204	200	197	194	190	186	181	176	177
191	189	188	188	186	185	182	179	176	172	168	164	159	159
171	167	167	169	169	167	164	162	158	153	150	146	141	142
150	144	146	150	151	149	146	144	139	135	132	128	124	124
130	122	125	131	134	132	128	126	121	117	114	110	106	107
110	100	104	112	116	114	110	108	103	98	97	95	93	91
93	87	89	95	100	98	94	93	90	86	85	84	83	81
67	72	74	82	86	85	82	81	78	74	73	72	72	71
54	60	63	68	73	72	69	68	65	61	60	60	61	61
47	48	50	55	59	59	57	56	53	50	49	49	50	51
35	38	41	45	47	47	47	46	44	43	42	42	43	44
22	24	31	34	40	40	40	38	37	36	35	35	37	37
16	20	24	32	33	33	32	31	30	29	28	28	30	30
2	5	15	25	25	25	25	24	23	22	21	22	23	23
0	0	4	9	15	15	14	12	10	5	2	2	10	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1,42)

(28,42)

(1,43)

849	832	820	810	804	804	802	800	800	800
783	766	755	745	741	741	739	736	736	736
717	701	689	680	677	677	675	672	672	672
651	635	620	615	614	614	612	608	608	608
586	569	557	550	551	551	549	544	544	544
520	503	497	491	490	493	490	485	485	485
465	446	442	438	439	443	438	433	433	433
405	388	386	385	385	392	387	380	380	380
345	330	331	333	338	341	335	327	327	327
285	273	275	280	287	290	283	275	275	275
225	215	219	227	236	239	232	222	222	222
187	187	188	189	192	193	189	184	184	184
170	169	169	170	170	168	164	159	159	159
152	151	151	150	148	144	139	134	134	134
135	133	132	130	126	120	114	109	109	109
117	115	114	111	104	99	96	94	94	94
100	99	98	96	93	90	87	84	84	84
91	89	88	87	83	80	77	75	75	75
81	80	79	78	74	71	68	65	65	65
72	71	70	69	65	62	58	56	56	56
62	62	61	59	56	53	49	48	48	48
53	52	51	50	48	45	42	41	41	41
48	48	48	43	40	38	35	35	35	35
37	38	37	35	33	30	28	28	28	28
29	30	30	28	25	23	22	21	21	21
22	23	23	21	18	13	9	7	7	7
0	4	4	4	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(28,50)





EJEMPLO DE SALIDA DEL PROGRAMA "REDMAR"

1 WATER DEPTH DATA

NUMBER OF HORIZONTAL GRID LINES 62  
 NUMBER OF VERTICAL GRID LINES 116  
 NUMBER OF PROBLEMS 116  
 GRID INTERVAL 125.0 MYS

DEPTH SOUNDINGS

1 PROBLEM DATA

PROBLEM NUMBER 1  
 ANGLE OF INCIDENCE 112.52 DEGREES  
 WAVE PERIOD 16.00 SECONDS  
 TIME INCREMENT 5.00 SECONDS  
 INITIAL ORTHOGONAL ORIGIN 4.0 2.5 (HORIZ, VERT)  
 MAX HORIZ ORTHOGONAL ORIGIN 5.0  
 ORTHOGONAL ORIGIN INTERVAL 1.0

ORTHOGONAL NUMBER	POINT NUMBER	TIME (SECS)	COORDINATES		DEPTH (MYS)	REFRACTION COEF	SHOALING COEF	HEIGHT COEF	WAVE DIRECTION
			X	Y					
	1	0.00	4.0000	2.5000	ORTHOGONAL ORIGIN	1.0000	0.0000	0.0000	112.52
	2	5.00	4.0000	2.5000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	112.52
	3	10.00	4.0000	2.5000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	112.52
	4	15.00	4.0000	2.5000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	112.52

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

Z  
.....  
.....  
.....  
.....

Z  
.....  
.....  
.....  
.....

Z  
.....  
.....  
.....  
.....

ONAL

ONAL

ONAL

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....

.....  
.....

.....  
.....

ANEXO IV.- Alturas de ola estimadas y períodos medidos para ciertos puntos próximos a Mazatlán, Sin.

## ALTURA DE OLA ESTIMADA:

LOCALIDAD: P. SABALO

FECHA: 15/ENE/68

1.2	1.1	1.1	1.3	1.1	1.0	1.9	1.5
1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.7	1.8	1.4
1.5	1.2	1.2	1.3	1.7	1.3	1.8	1.3
1.3	1.2	2.2	2.1	1.9	1.3	2.2	1.9
1.9	1.3	1.2	1.3	1.1	1.3	1.3	1.3
1.5	1.2	1.2	1.2	2.5	1.0	1.5	1.2
1.2	1.5	1.0	1.2	1.3	1.1	1.2	1.5
1.0	1.1	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
1.2	1.5	1.4	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3
1.9	1.3	1.3	1.1	1.6	1.3	1.4	1.2
1.3	1.6	1.2	1.4	1.7	1.3	1.3	1.3
1.3	1.6	1.2	1.1	1.3	1.0	1.6	1.3
1.4	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.33 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA MAYOR ES: 1.33 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

9	10	10	10	8	10	16	9
9	7	7	9	8	8	12	13
13	12	14	13	9	12	11	12
14	12	7	11	2	7	11	8
9	8	8	7	6	7	8	12
11	12	8	10	10	9	8	10
9	9	6	9	5	8	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 9.7 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: P. COBO

FECHA: 15ENE.66

.9	.2	.1	.9	1.3	.2	.2	1.3
.2	.8	.5	.3	.5	.2	.4	.4
1.1	1.1	1.1	1.1	.3	.4	.6	.4
.1	.2	.2	.2	.3	.3	.2	.3
.5	.2	.4	.4	.1	.1	.6	.5
.2	.2	.4	.1	.1	.2	.6	.5
.2	.3	.4	.5	.6	.2	.2	.5
.3	.3	.2	.1	.6	.2	.6	.5
.2	.3	.2	.2	.6	.6	.2	.4
.4	.1	.2	.1	.5	.6	.5	.5
.4	.3	.3	.3	.3	.3	.5	.3
.4	.3	.3	.3	.5	.1	.1	.5
.3	.3	.3	.2	.3	.2	.2	.2

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: .60 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: .40 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

10	9	11	10	9	10	11	6
7	9	11	8	5	5	9	5
9	9	8	7	5	8	10	10
9	4	4	7	5	5	9	7
7	9	8	3	3	9	5	7
9	6	4	7	5	9	8	9
8	9	10	11	0	:	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 8.1 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: P. ARENILLA

FECHA: 15ENE.66

.9	.7	.7	.9	.3	.6	.7	.7
.7	.6	.8	.7	1	.9	.9	1.2
.9	.6	.9	.4	1	1.4	1.4	.4
.8	.6	.8	.4	.7	.9	.8	1
.9	.9	1.2	.7	.6	.7	.8	.7
.4	.7	.8	.9	.8	.7	.8	.4
.7	.7	.4	.4	.4	.8	.9	.7
.8	.7	.9	.7	.7	.8	.9	.4
.8	.9	.8	.9	.8	.6	.6	.7
.8	.2	.4	.7	.7	.4	.7	.2
.8	.9	.9	.9	.4	.4	.8	.4
.4	.6	.4	.4	.8	.8	.9	.7
.9	.8	.7	.4	.7	.7	.4	.7

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.11 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: .78 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

11	5	9	12	9	10	9	11
9	9	10	12	8	7	14	9
8	9	8	8	11	7	8	9
8	11	11	9	7	7	8	7
9	9	5	7	7	10	11	5
11	11	9	5	11	9	9	9
7	11	12	11	8	8	8	8

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 9 SEGUNDOS.



## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: ACUARIO

FECHA: 16ENE.36

1.3	1.1	.8	1.1	.8	.7	.5	1.2
1.5	1.3	.9	.4	1.1	.7	.8	1.1
.8	1.1	.8	.6	.5	.8	.5	.8
1.1	1.4	1.4	1.3	1.3	1.6	1.3	1.2
.8	.6	1.1	.8	1.1	.7	.6	1.1
1.4	.5	.9	.6	1.2	1.4	1.6	1.3
.7	1.1	.6	.6	1.1	1.1	.8	.8
.8	1.4	.8	1.1	1.6	1.1	1.3	1.4
1.1	.8	1.3	.6	.3	1.1	1.5	1.6
1.3	.7	1.2	.8	1.2	1	1.3	1.1
1.1	1.1	.6	.6	1.2	1	1.3	1.4
1.6	.5	.8	1.1	1	1.1	1.4	1.4
1.5	1.1	1.1	.8	1.1	1.2	1.1	1.6

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.6 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: 1.13 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

17	19	10	29	14	18	18	20
15	15	9	10	11	10	15	15
12	13	20	8	12	15	10	7
14	7	20	20	10	20	18	13
14	25	20	7	8	18	12	12
8	22	18	20	17	16	17	13
7	17	16	11	9	10	16	10
11	12	16	19	15	12	7	12
12	16	0	0	0	0	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 14.3 SEGUNDOS.



## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: PLAYA NORTE

FECHA: 16ENE.84

.9	.9	.4	.9	.3	.3	.4	.6
1.5	.5	.6	.6	.3	.4	.7	.8
.5	1	.5	.3	.6	.8	.5	.4
.5	.5	.3	.3	.4	.8	.6	.5
.5	.8	.7	.7	.4	.7	.4	.6
.4	.5	.7	.5	.5	.3	.4	.4
.2	.4	.2	1.2	.2	.4	.3	.3
.9	.3	.4	.5	.4	.5	.7	.4
1	.7	.2	.4	.7	1	.4	1
.7	.7	.3	.3	.3	.5	.3	.5
.8	1.2	.7	1.2	1.2	1	.7	.3
.8	.2	.7	.3	.4	.5	.5	.3
.8	.4	1	.5	.4	.4	.7	.7

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: .95 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (M-RMS) ES: .67 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

7	10	15	15	21	14	10	5
9	15	20	18	13	17	16	15
12	16	14	13	13	17	16	14
14	18	19	18	10	13	17	20
15	13	12	19	20	13	12	5
8	8	17	18	10	11	15	18
18	9	10	13	11	17	20	10
20	10	13	14	20	7	16	15

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 14 SEGUNDS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: P. CHILE

FECHA: 14ENE.64

.9	.7	.5	1	.9	1.1	1.1	1.1
1.4	1.1	.9	.5	.5	1.1	1.1	.9
1.2	1.4	1.1	1.1	1.1	1.6	1.9	1.1
1.4	.6	.5	.9	.6	1.1	1.7	1.1
.6	.5	1.3	1.1	1	.6	.6	.7
1.1	1.1	.7	1.2	.9	1.1	1.3	.7
.9	1.7	1.3	1	1	.7	1.4	1.4
1	.9	.5	.7	1	1	1.1	1.3
1	.5	.7	1.1	1.1	1.1	1.1	.9
.5	.9	.4	.9	1.1	1.3	.9	1.2
.5	.5	.9	.5	.8	1.3	.5	1
.7	.6	1.1	.9	1.1	.7	.4	.9
1.1	.8	1	.9	.8	.7	1.1	.5

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.3 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: 1.06 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

20	12	10	13	17	10	12	11
14	11	10	20	11	12	13	14
15	20	13	15	17	15	20	20
15	13	17	10	20	20	10	20
10	15	22	17	17	11	27	20
14	12	15	20	6	11	8	12
15	23	15	20	14	11	14	23

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 15.4 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: OLAS ALTAS

FECHA: 17ENE.36

.9	.4	.6	.4	.5	.9	.7	1.1
.9	.9	1	.4	.4	.6	.5	.9
.4	.9	.4	.7	.8	.1	.4	.4
1.1	1.1	1.2	.3	.5	1.1	.6	.6
.4	.5	.4	.4	.8	.6	.9	.3
.4	.4	.7	1	1.2	.4	1.2	.5
1	.9	.3	1	.4	.3	.4	.8
1	.8	.6	.4	.3	.4	.4	.4
.9	1	1.1	.6	.4	1.1	.5	.9
.8	1	.9	.9	.9	.9	.7	.4
.9	.8	.4	.3	.6	.6	.6	.6
.9	.5	.8	.4	.4	.6	.5	.6
1	.8	1	.5	.4	.4	.7	.3

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.12 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: .77 METROS

## PERIODO DE OLA OBSERVADOS

15	6	10	13	12	6	12	8
12	13	12	15	12	11	12	14
7	8	7	5	8	10	7	7
5	13	4	9	6	9	7	8
5	15	15	11	19	12	5	7
21	7	9	5	5	15	8	11
14	15	14	11	7	13	15	10
15	11	14	10	20	7	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 10.4 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: PUNTA.VIOIA

FECHA: 17ENE.84

.8	.5	.5	.4	.9	.3	.4	.6
1	.7	.6	1.2	.4	.6	1	1.4
1	1.4	.3	1.4	1	.7	.4	1.2
.6	1	.3	1	1	.6	.4	1
.7	1.7	.7	1	1.4	.7	.6	.7
1.3	1	1.3	.6	.6	.4	1	.6
.6	.6	.6	.4	.7	.3	.4	.6
.7	.6	1	1.2	1.1	.8	1.4	1.2
.7	1	1.2	.6	.6	.4	.7	.6
.3	.9	1.2	.7	1.2	1	.6	.3
1.1	.6	.6	.3	.7	1.2	1.2	.4
1.2	1.2	.8	.6	1.3	1.4	.7	.8
.6	.6	.7	1.4	1.4	1.2	.6	1.4

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.31 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: .93 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

10	10	6	8	12	4	11	9
7	13	7	9	4	6	8	7
6	10	16	6	8	15	10	13
7	7	7	15	13	10	10	23
12	13	5	9	7	8	6	14
11	14	8	22	7	9	11	18
11	9	7	8	6	8	6	6

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 10 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: CRESTON NORTE

FECHA: 17ENE.66

.3	.1	.2	.5	.3	.5	.3	.6
.9	.5	.7	.7	.8	.4	.4	.4
.5	.5	.7	.3	.9	.7	.4	.5
.8	.5	.4	.7	.9	.0	.4	.2
.5	.7	.2	.4	.0	.7	.8	.4
1	.9	.7	1.4	.4	.1	.4	.6
.4	1	1	.4	.7	.7	1	1
.4	1.1	1	1.0	1.0	1.3	.7	1.5
1.1	1.3	.7	1.4	.5	.4	.9	.8
.7	1.2	1.1	.7	1.1	1.5	1.1	1.4
1.1	1.4	.7	1.5	1.1	1	.7	.4
.9	.9	.7	1	1.3	.7	1.1	.5
1.5	1.1	1.1	1.2	.7	.7	.7	.4

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.26 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (M-RMS) ES: .67 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

5	6	5	11	9	8	11	4
7	4	5	4	11	4	6	6
10	5	4	7	5	4	5	7
7	12	5	6	4	7	7	6
10	9	7	5	5	3	3	6
9	12	8	5	7	5	7	3
9	12	5	16	1	0	4	7
9	5	5	8	6	12	12	9
9	5	10	0	0	0	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 7.16 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: CRESTON.SUR

FECHA: 17EHE.66

.5	.3	.5	.5	.8	.8	.3	1
1	1.2	.5	.5	.8	1.2	.5	.8
1	.5	1.2	.5	1.3	1.3	1.5	1.5
1	1.5	.5	1.2	1.3	1.3	1.5	1
.2	1.5	1.3	1.5	1.5	1	2	2
1.2	1.3	1.3	1	1.3	1.3	1	1.5
2	2.3	1	1.3	1.5	1	1.3	1.3
1.3	1	1.3	1.5	1	1.8	1.3	2
1.5	1	1.5	1.3	1.3	1.2	.8	2
3	2	1.5	1	1.5	1.5	1.8	1
1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	1
1.3	1.3	1	1.5	1	1.5	1	1
1.3	.8	2.3	1.3	0	0	0	0

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.8 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: 1.28 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

10	13	14	14	20	14	17	11
14	10	11	8	13	18	4	8
19	16	8	18	12	18	13	17
14	15	14	11	14	14	13	14
13	18	18	14	17	14	12	13
10	10	10	15	5	9	14	13
13	14	0	0	0	0	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 12.3 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: VEIADOS.SUR

FECHA: 21ENE.66

1.3	.9	1.1	.9	1.3	1.6	1.2	.6
.4	.4	.6	1.3	1.1	1.2	.9	1.1
1.2	.6	.8	.5	.8	.6	1.1	.8
.6	1.1	1.1	.7	1.1	.3	1.1	1
1.4	1.5	.4	.6	1.1	1.2	.6	1
1.2	1.6	.6	.9	.8	1.3	.6	.9
.7	.6	1	.5	1.1	.8	.6	.8
.4	.6	.7	.6	.6	1.1	.4	.7
.9	1.3	.9	.8	.7	.6	.6	.9
1.1	1.1	1.2	1.3	1	.9	1.1	1.1
1.2	.9	1.1	1.1	1.1	.3	.6	1
1.1	.9	.9	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
1.2	.8	0	.2	.7	0	1.2	1.2

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: 1.44 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: 1.01 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

9	7	10	10	6	10	11	7
5	2	13	10	15	8	10	11
10	10	7	7	14	14	8	5
12	9	12	10	6	10	10	10
8	10	15	12	5	6	7	10
8	6	12	12	12	6	10	12
7	1	6	10	7	9	9	10
10	0	0	0	0	0	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 9.14 SEGUNDOS.

## ALTURAS DE CLA ECTIVADAS

LOCALIDAD: VENADOS NORTE

FECHA: 21ENE.66

.8	1.3	.9	.7	.8	.5	.4	.4
.4	.4	.9	.4	.4	.4	.4	.5
.5	.5	.4	.1	.1	.1	.7	.7
.5	.7	.6	.5	.6	.5	.4	.4
.4	.4	.4	.3	.1	.3	.4	.4
.5	.5	.5	.3	.4	.5	.6	.2
.5	.5	.2	.5	.0	.5	.7	.4
.5	.5	.1	.5	.3	.5	.5	.8
.3	.3	.1	.5	.0	.4	.5	.5
.1	.1	.5	.5	.3	.5	.5	.5
.4	.4	.7	.4	.4	.7	.6	.7

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: .62 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (M-RMS) ES: .52 METROS

## PERIODOS DE CLA OBSERVADOS

6	10	6	8	6	10	8	10
6	6	4	6	8	17	7	6
4	5	5	4	7	5	9	10
3	14	8	6	9	5	9	5
10	6	10	3	4	5	8	10
6	5	6	11	9	9	8	9
8	5	7	5	9	8	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 7.32 SEGUNOS.



## ALTURAS DE OLA ESTIMADAS

LOCALIDAD: PAJAROS

FECHA: 21ENE.86

.2	.3	.2	.3	.1	.3	.2	.3
.2	.3	.1	.2	.3	.1	.3	.2
.2	.4	.2	.3	.6	.6	.4	.3
.5	.3	.1	.2	.3	.5	.1	.5
.3	.1	.3	.2	.5	.5	.4	.5
.3	.3	.5	.8	.5	.3	.5	.2
.3	.3	.3	.4	.3	.3	.3	.3
.4	.3	.1	.3	.5	.3	.3	.5
.3	.3	.2	.3	.3	.3	.3	.4
.2	.4	.2	.3	.1	.2	.6	.5
.3	.2	.3	.2	.3	.5	.5	.3
.2	.3	.3	.3	.5	.3	.3	.4
.4	.3	.5	.3	.3	.3	.3	.4

LA ALTURA SIGNIFICANTE ES: .57 METROS

LA ALTURA MEDIA CUADRADA (H-RMS) ES: .4 METROS

## PERIODOS DE OLA OBSERVADOS

10	8	12	10	12	8	20	9
10	12	7	12	14	14	18	15
15	17	15	8	4	3	1	12
16	8	5	10	19	12	18	8
9	12	13	4	7	9	11	11
9	12	7	18	14	4	18	11
14	9	3	15	13	10	12	7
10	2:	0	0	0	0	0	0

EL VALOR DEL PERIODO MEDIO ES: 11.48 SEGUNDOS.

