

24  
137



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

PRACTICAS PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS  
DEL OLEAJE.

## TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL

presenta

**GUSTAVO ALEJANDRO MURILLO BAGUNDO**

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-314.

Señor GUSTAVO ALEJANDRO MURILLO BAGUNDO,  
P r e s e n t e .

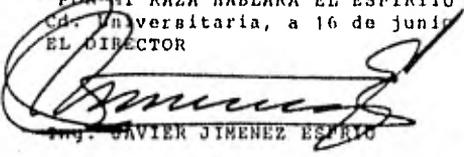
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento al tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing. ANTONIO MORENO GOMEZ, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"PRACTICAS PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS DEL OLEAJE".

- I. Introducción
- II. Generalidades
- III. Predicción del Oleaje
- IV. Información Estadística del Oleaje
- V. Mediciones en el Sitio
- VI. Ejemplos de Aplicación
- VII. Conclusiones y Recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e ,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 16 de junio de 1962  
EL DIRECTOR

  
Ing. JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJE/06/11/ychl.

# I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I.- INTRODUCCION	4
CAPITULO II.- GENERALIDADES	18
II.1 Clasificación de las Ondas	19
II.2 Mareas	20
II.2.1 Mareas Astronómicas	21
II.2.2 Mareas de Tormenta	24
II.2.3 Resacas en Dársenas	25
II.3 Tsunamis	26
II.4 Olas Generadas por Viento	27
II.4.1 Teorías del Oleaje	29
II.4.2 Fenómenos del Oleaje	33
II.4.2.1 Refracción	33
II.4.2.2 Difracción	36
II.4.2.3 Reflexión	37
CAPITULO III.- PREDICCIÓN DEL OLEAJE	39
III.1 Elementos de Meteorología	40
III.2 Estimación de las Características del Viento	43
III.3 Generación de Oleaje	49
III.3.1 Delimitación del Fetch	51
III.3.2 Efecto del Ancho del Fetch	53
III.3.3 Fetch y Duración Mínimos	57
III.3.4 Situación del Oleaje Respecto a la zona de Generación	58
III.3.5 Decaimiento del Oleaje	61
III.4 Predicción del Oleaje en Aguas Profundas	64

		PAG.
III.5	Predicción del Oleaje en Aguas Reducidas	71
III.6	Espectro del Oleaje	77
III.6.1	Análisis Espectral	77
III.6.2	Espectro Refractado	80
III.6.3	Forma del Espectro	82
III.6.4	Construcción del Espectro	87
III.7	Oleaje Ciclónico	92
III.8	Altura de Rompimiento	97
CAPITULO IV.- INFORMACION ESTADISTICA DEL OLEAJE		100
IV.1	Oleaje Real	102
IV.2	Descripción Estadística	103
IV.3	Parámetros Estadísticos	104
IV.4	Regímenes de Oleaje	109
IV.5	Régimen de Oleaje Normal	110
IV.5.1	Atlas Sea and Swell	111
IV.5.2	Otras Fuentes de Información	112
IV.6	Régimen de Oleaje Extraordinario	116
IV.6.1	Distribución Probabilística Anual	117
IV.6.2	Ecuación Extremal	121
CAPITULO V.- MEDICIONES EN EL SITIO		125
V.1	Forma de Medición	126
V.2	Estación Oceanográfica	128
V.3	Muertos de Anclaje	129
V.4	Señalamiento	129

	PAG.	
V.5	Elementos de Anclaje	129
V.6	Equipo Oceanográfico	131
V.7	Procesamiento de la Información	136
CAPITULO VI,-	EJEMPLOS DE APLICACION	138
VI.1	Oleaje Normal	139
VI.1.1	Cartas de Información Estadística	139
VI.1.1.1	Atlas Sea and Swell	140
VI.1.1.2	Ocean Waves Statistics	152
VI.1.1.3	Otras Fuentes	175
VI.1.2	Mediciones en el Sitio	182
VI.2	Oleaje Extraordinario	188
VI.2.1	Método C.E.R.C.	196
VI.2.2	Método S.M.B.	203
VI.2.3	Oleaje Extraordinario Asociado a una Distribución Probabilística	208
VI.2.4	Decaimiento del Oleaje Extraordinario	211
VI.2.5	Altura de Ola Máxima para Diseño	213
VI.2.6	Espectro de Energía	214
CAPITULO VII,-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	217
BIBLIOGRAFIA		234

CAPITULO I

## INTRODUCCION

El océano desempeña un papel de enorme importancia en la vida de la humanidad. Desde tiempos inmemoriales es una fuente de alimentos; es instituíble como vía acuática que une los continentes y que permite utilizar uno de los transportes más económicos: la flota marítima.

En nuestros días el papel de la economía marina ha ido elevándose notablemente. El océano se ha convertido en un gran productor de petróleo, gas, hierro, manganeso y otros recursos; el agua de mar también es materia prima. Se ha desarrollado su desalinización y se han construído las primeras centrales mareomotrices.

La tendencia histórica es seguir aumentando la importancia del océano. Ello se debe, en primer lugar, al agotamiento relativo de los recursos existentes en tierra firme y al encarecimiento de su extracción y transporte, que ha hecho imprescindible la incorporación de las riquezas del mar a la economía; en segundo lugar, a que la incorporación de cualquier región del globo terráqueo en el empleo económico intensivo está

determinada, a fin de cuentas, por sus índices económicos, los cuales a su vez, dependen ante todo, del progreso científico-técnico. Somos testigos de cómo muchos países van prestando cada vez mayor atención al océano y a sus recursos, a la conquista del mar, al perfeccionamiento del transporte marítimo, etc.

Además de los problemas económicos, el aprovechamiento de las riquezas del océano engendra numerosas y complicadísimas cuestiones técnicas, políticas, jurídicas y ecológicas.

En realidad, todo el conjunto de cuestiones indicadas, se encuentra en su etapa inicial de investigación científica y realización práctica. El océano es, en lo fundamental, una "tierra virgen" que deberá ser roturada -- por la generación actual y las venideras.

La envoltura acuática de la Tierra ocupa casi el 71% de su superficie. Los océanos constituyen más del 94% de la hidrósfera.

El océano desempeña funciones importantes en la vida -- del hombre. Debido a la clorofila, sus plantas captan --

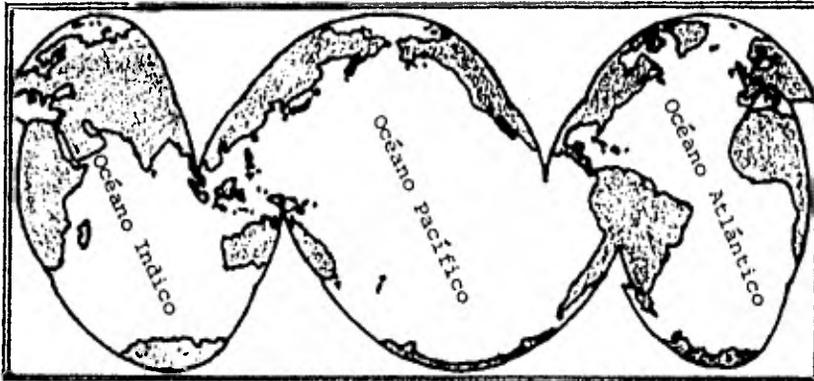


FIGURA 1.1 Distribución de los océanos en la superficie terrestre.

la energía de los rayos solares y con su ayuda las moléculas de gas carbónico y de agua forman moléculas de -- azúcar (glucosa) y moléculas libres de oxígeno. Este -- proceso, denominado fotosíntesis, permite a las plantas junto a las sales orgánicas, crear después proteínas y -- grasas, y saturar de oxígeno la atmósfera. Cuando el -- mar se encuentra demasiado turbio, al no penetrar la -- energía solar en él, se desarrollan contaminantes que -- reducen la actividad de las plantas y peces.

Las plantas marinas elaboran el 70% del oxígeno que se --

encuentra en la atmósfera. Las sustancias orgánicas son, a su vez, una verdadera despensa para los habitantes de aguas superficiales, de que se alimentan los organismos que habitan a mayores profundidades.

Las aguas del océano y sus microorganismos, que aumentan y varían de acuerdo con las circunstancias, tienen la capacidad de disolver, descomponer y eliminar los desechos nocivos de la industria, el transporte y otras actividades del hombre, de autopurificarse y restablecer el medio ambiente, pero hay desechos que el mar no "digiere". Así, el mercurio en las aguas residuales no sólo no desaparece, debido a la actividad de los microorganismos, sino que se transforma en una combinación aún más tóxica.

Al evaporarse bajo la influencia del calor solar, la humedad de los mares crea en la atmósfera reservas de agua dulce, que cae después en forma de precipitaciones. Las evaporaciones anuales componen 447,900 metros cúbicos, de los cuales más del 90% regresan con las lluvias al océano, y el 10% cae primero a la tierra, regándola, para reponer más tarde la "gran" hidrósfera.

El mar desempeña el papel de un grandísimo depósito de calor, absorbiéndolo en primavera y verano y entregándolo en otoño e invierno.

La obtención de las proteínas que contienen los peces no requiere grandes gastos para su alimento y reproducción (a diferencia de los gastos de producción de ganado); la recolección de algas no implica la necesidad de efectuar gastos en el arado, gradeo y abono.

Además, ofrece la ventaja de poder situar en la orilla del mar la construcción y reparación de barcos, el refinado de crudos "marinos", la preparación de productos químicos marítimos, la industria pesquera, la fabricación de equipos oceanográficos, centrales mareométricas, puertos, etc.

Sin embargo, a la par con los factores de abaratamiento, existen otros que encarecen la producción marina. Es elevado el precio de equipos de perforación, aparatos submarinos, la construcción de obras de defensa y abrigo. La pesca requiere inversiones mayores a las de obtención de productos ganaderos; exige costosos buques y puertos. La

pesca marítima tiene un carácter temporal, necesita -- frigoríficos y almacenes; está más localizada que la -- agricultura. De ahí la elevación de los gastos en el -- transporte del pescado a regiones donde no lo hay.

Como resultado de la interacción de todos estos factores, la obtención de los recursos del mar no se justifica económicamente en todas las regiones. La insufi -- ciente eficacia de esta obtención es precisamente la -- principal dificultad en la conquista del océano.

En la etapa inicial de desarrollo de estudios del mar -- desde la antigüedad hasta el siglo XVIII --, las fuer -- zas motrices fundamentales de las investigaciones eran la política expansionista, la búsqueda de nuevas tie -- rras y las necesidades de navegación. Era época de los grandes descubrimientos geográficos; el principal lo -- gro científico fue la cartografía. La mejor fuente de -- información sobre las partes del océano alejadas de -- tierra firme eran los viajes marítimos, poco frecuen -- tes y únicos en su género, durante los cuales se efect -- tuaban distintas observaciones y mediciones. Por su -- puesto que los datos así obtenidos, llegaban con un re -- traso de varios meses o años, se recogían en rutas ca --

suales y eran incompletos, inseguros y con frecuencia, \_  
contradictorios.

En el siglo XVIII comenzó una nueva etapa. Se organiza-  
ron expediciones marítimas de investigación, aparecie -  
ron y se desarrollaron aparatos especiales para las in-  
vestigaciones oceanográficas, surgió una profesión dedi -  
cada a los océanos.

En aquellos tiempos se promovieron, en primer lugar, --  
las investigaciones geológicas, físicas y químicas, ya\_  
que precisamente éstas ofrecían el mayor interés para -  
los navegantes y constructores de puertos y para la --  
confección de pronósticos. Los pescadores se interesa -  
ban por la temperatura y la salinidad en diferentes zo -  
nas y la variación de estas características con el tiem -  
po. A su vez, los navegantes se interesaban por datos \_  
sobre las oscilaciones de la marea en la zona costera, \_  
en particular en los puertos y sus accesos, el oleaje y  
las corrientes.

A raíz del problema del movimiento de la superficie del  
agua en el mar, se creó la teoría de las olas marítimas  
producidas por el viento y se elaboraron los fundamen -

tos del cálculo teórico de sus características.

Para efectuar predicciones relacionadas al mar, se vió que dependían mucho de los pronósticos del tiempo, por lo que los estudios no se limitan a los procesos que tienen lugar en el medio acuoso, sino que también se investigan los fenómenos que se producen en la atmósfera sobre la superficie marina.

Las predicciones a corto y mediano plazo pueden establecerse con la información local. Para estimaciones a largo plazo se necesita la información global. La obtención oportuna de la suficiente cantidad de información y la necesidad de elaborarla rápidamente, presentaron dificultades infranqueables hasta los últimos decenios. Pero con la aparición de aparatos electrónicos, técnica especial y computadoras de acción rápida, se dió comienzo a una etapa nueva en las investigaciones del océano. Puede señalarse, por ejemplo, que la oceanografía contemporánea dispone de instrumentos tales como el anemómetro acústico, que utiliza las oscilaciones ultrasónicas y permite medir la componente vertical de la velocidad del viento con precisión de 1cm/seg; el higrómetro infrarojo para medir la humedad absoluta, que posee la

sensibilidad de  $0.01 \text{ gr/m}^3$ ; el microtermómetro con sensor tungsténico de resistencia, con sensibilidad de  $0.001^\circ\text{C}$ , etc. Estos aparatos permiten registrar en cinta magnética, para después ser introducidos en computadoras que calculan las condiciones meteorológicas.

Sin embargo, en el momento actual, se hace sentir la falta de información para los pronósticos seguros a largo plazo. Los intentos para superar esta insuficiencia avanzan por varias direcciones: aumento del número de estaciones meteorológicas, empleo de otras fuentes de información, incluidos los satélites artificiales, etc.

En los últimos años han comenzado amplias investigaciones y mediciones en las que se utilizan estaciones oceanográficas para reunir datos que en un futuro próximo permitirán estudiar sistemáticamente y con bastante rapidez la información de todo el espacio del océano mundial con ayuda de sistemas automatizados de obtención y transmisión de la información a los centros terrestres.

El océano, con sus fenómenos y regularidades universales, complejos e interrelacionados, ya no aparece como

una multitud de acciones y elementos aislados, sino como un gran sistema peculiar, y en sus investigaciones se deben aplicar también los métodos modernos del análisis en sistema.

En México, la aplicación de la ingeniería marítima en los litorales, ha sido muy extensa, remontándose a la llegada de los españoles, los cuales se vieron en la necesidad de habilitar atracaderos y protecciones elementales para sus embarcaciones.

Posteriormente, por la necesidad de defensa contra flotas rivales, se construyeron fuertes como el Castillo de San Juan de Ulúa en Veracruz, y se conformaron pequeños canales de navegación.

Entre los primeros puertos nacionales destacan Acapulco, Gro, San Blas, Nay, y Tampico, Tamps.

En años posteriores a la colonia, se construyeron los puertos de Coatzacoalcos, Ver. y Salina Cruz, Oax. para aprovechar la corta distancia entre el Océano Pacífico y el Océano Atlántico en el Istmo de Tehuantepec.



Tal vez, la mayor deficiencia radica en la falta de información estadística de parámetros oceanográficos, dejando en buena medida el diseño de las obras al buen juicio y experiencia del proyectista.

Para muchos proyectos, el tipo de análisis e investigación conducirá a óptimos resultados, por lo que resulta claro que el ingeniero debe resolver problemas prácticos en los que se involucra tiempo, costo y técnicas modernas.

Por lo que se refiere a las características del oleaje, cuatro aspectos promueven los estudios en este tema:

- a) Necesidad de incrementar el tiempo de trabajo efectivo en el mar.
- b) Determinación de las fuerzas por oleaje en las estructuras marinas.
- c) Obtención del alcance de la ola en obras de protección.
- d) Profundización en los conocimientos sobre los efectos del oleaje en zonas costeras sujetas a la erosión y azolve.

Cada día nos llegan noticias referentes a los logros de

la humanidad en el estudio, el empleo de los recursos y la protección ecológica de los océanos. Hacia este objetivo de la civilización mundial, se aproxima un número cada vez mayor de países y pueblos. El siglo XXI será, por lo visto, la etapa decisiva en cuanto a la incorporación de los recursos marinos no tradicionales a la vida económica, al nuevo enfoque del desarrollo de las ramas tradicionales de la economía de los océanos y al desarrollo de las investigaciones científicas.

## CAPITULO II

## GENERALIDADES

Los movimientos en el mar son originados principalmente por los efectos del sol, la luna, movimientos terrestres, el viento, variaciones de temperatura y salinidad.

De acuerdo al tipo de movimiento, se puede hacer la siguiente clasificación:

ONDAS, cuya principal característica es un movimiento casi siempre periódico, desarrollando elevaciones y depresiones en la superficie del agua.

CORRIENTES, las cuales son fundamentalmente desplazamientos de masas de agua.

### II.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS

Las ondas se pueden clasificar atendiendo al tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas o valles consecutivas de la onda, llamado *período*, el cual puede ser muy variado (fig. II.1), sin embargo, para el ingeniero portuario o costero ofrecen mayor importancia las comprendidas entre 4 y 20 segundos, que son las llamadas *ondas de*

gravedad. El hecho de que estos períodos sean los de manejo común, no quiere decir que se deba ignorar lo referente a otros tipos que tienen gran trascendencia en relación con puertos y costas.

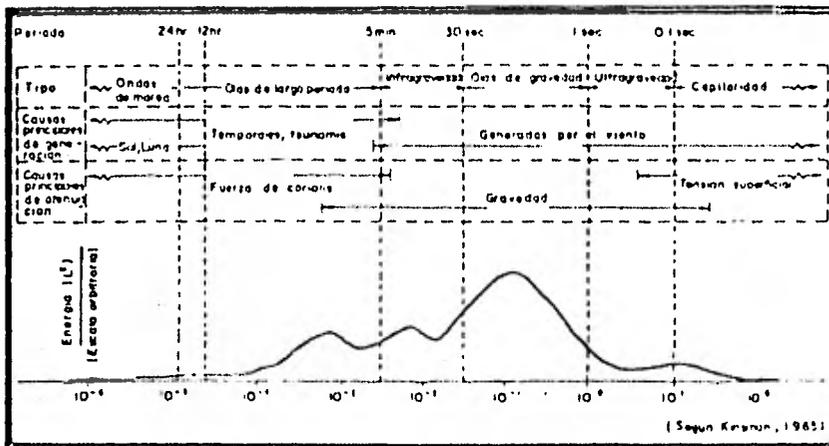


FIGURA II.1 Clasificación de las ondas según su período.

## II.2 MAREAS

La luna y el sol crean usualmente las mareas en el océano, llamadas éstas *mareas astronómicas*. Lo anterior se debe a las fuerzas gravitacionales actuando conjuntamente con la rotación y translación de la tierra. Esto ha atraído la atención del hombre desde tiempo inmemorial.

Varias culturas se desarrollaron en zonas costeras gracias a la oportunidad de obtener productos del mar, -- aprovechando la marea baja, en el caso de culturas muy primitivas que no conocían embarcaciones, al dejarles peces y otras especies atrapados y al descubierto. Aún los pueblos que ya contaban con embarcaciones, y ante la imposibilidad de realizar dragados, tenían que regirse por la marea para entrar y salir de sus muelles. Las mareas tienen considerable importancia en la navegación de barcos, con corrientes y cambios de nivel -- que afectan el movimiento de ellos y, en algunos casos determinan el horario de sus maniobras.

Otras fuerzas que producen cambios en el nivel del mar son debidas a las condiciones metereológicas, originando las llamadas *mareas metereológicas o mareas de tormenta*.

### II.2.1 MAREAS ASTRONÓMICAS

En el caso de las mareas astronómicas, las fuerzas que tienen principal importancia son la de gravitación de la luna y el sol, la fuerza centrífuga debida al movimiento de la tierra en su órbita, la fuerza de Corio -

lis, producida por la rotación de la tierra en su eje, y la fuerza de fricción ocasionada por el movimiento de las masas de agua. La fuerza gravitacional de otros astros es despreciable.

Normalmente existen dos niveles altos y dos niveles bajos en cada intervalo de día lunar. Por ser el día lunar aproximadamente 50 minutos más largo que el día solar, se puede decir que es el período del movimiento ondulatorio es de 12 horas 25 minutos, produciéndose por ello, los máximos niveles cada día 50 minutos más tarde.

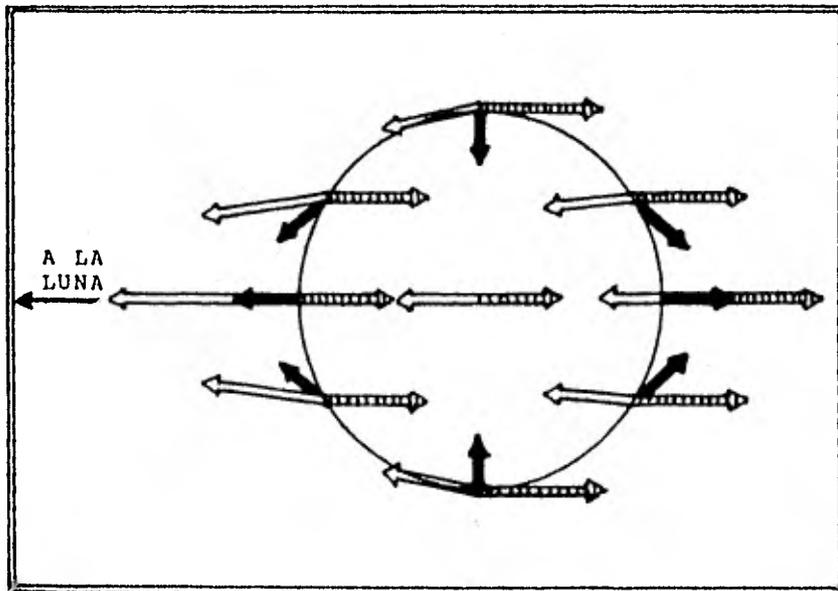


FIGURA II.2 La magnitud y dirección de las fuerzas de generación de la marea resulta de la diferencia entre la fuerza atractiva y la fuerza centrífuga dada en los puntos de la superficie de la Tierra. Flechas claras: fuerza atractiva; flechas ralladas: fuerza centrífuga; flechas negras: fuerza generadora de marea (Defant, 1953)

Existen varias teorías sobre la forma y dinámica de las mareas (Newton, Laplace, Harris, Walburg) que han sido aprovechadas posteriormente para elaborar métodos de predicción (Defant, Ippen, etc.) En la actualidad, para varios puertos de México, el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. elabora dichas predicciones con bastante aproximación.

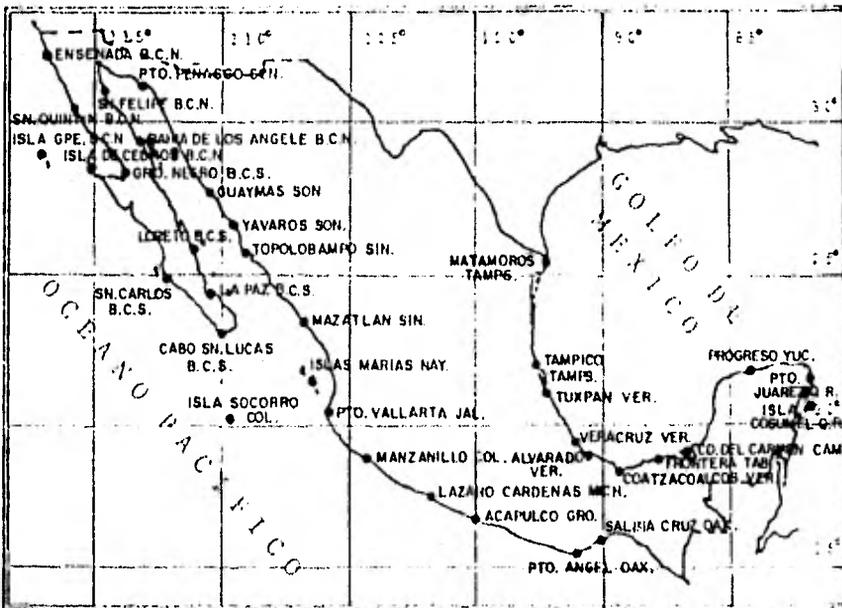


FIGURA II-3 Red Mareográfica Nacional.

Al observarse el nivel del mar se nota que hace un movimiento rítmico de subida y bajada alternativamente;

al subir, *llenante* llegará a un máximo de altura conocido como *pleamar*; después bajará *vaciante*, llegando a un mínimo, *bajamar*, reproduciéndose de nuevo la oscilación. La posición media de las oscilaciones en 29.53 días es llamada *nivel de media marea*. La diferencia entre los niveles alcanzados en una oscilación se llama *amplitud*. Hay que hacer notar que el nivel de media marea varía a través de los años. Como práctica se ha tomado el promedio de 19 años, correspondientes a un ciclo lunar, de los niveles de media marea como el valor al cual se le llama *nivel medio del mar* (NMM).

### II.2.2 MAREAS DE TORMENTA

La determinación del nivel de agua bajo condiciones de tormenta y huracanes, representa un problema complejo que incluye interacción entre agua y viento.

El viento, al soplar sobre una superficie de agua, produce una corriente en su dirección, lo que ocasionará un desplazamiento de volúmenes de agua. Dichos volúmenes se ven detenidos al acercarse a la costa, originando una elevación en el nivel del agua en esa zona, in-

dependientemente de las mareas astronómicas. Simultáneamente, en el lado desde el cual sopla el viento, se presentará una disminución de nivel, pero de menor intensidad. Desde el punto de vista ingenieril, la sobreelevación tiene mayor importancia que el descenso de nivel, principalmente por producirse en las áreas costeras. A este fenómeno se le da el nombre de *sobreelevación de tormenta*, o también *marea de tormenta o meteorológica*.

### II.2.3 RESACAS EN DÁRSENAS

En dársenas cerradas o ligeramente abiertas al mar, como pueden ser los lagos, bahías, canales o puertos, ocurren oscilaciones que son conocidas como *resacas en dársenas*. Son ondas de tipo estacionario de períodos relativamente largos. Estas oscilaciones son comunes en algunos puertos, pero raras en otros, variando para un puerto dado, su frecuencia de año a año.

Se han medido oscilaciones de este tipo con amplitudes mayores de 1.5 m y períodos de 14 seg a 40 min.

En dársenas cerradas las causas de esta oscilación pue-

de ser tanto la acción del viento como la variación de la presión atmosférica.

En dársenas abiertas y puertos suelen generarse las oscilaciones por fuerzas con períodos similares al período de resonancia de la propia dársena.

### II.3 TSUNAMIS

Las olas de largo período—5 minutos a 12 horas— son -- asociadas a sismos submarinos, deslizamientos, erupciones volcánicas, etc. Estas olas son generalmente conocidas como *Tsunamis*.

A partir de observaciones realizadas, se ha encontrado que para que se produzca un tsunami, la magnitud del sismo debe ser mayor de  $6.3 + 0.01H$  siendo H la profundidad del foco o epicentro, en kilómetros. Para que los tsunamis sea desastrosos su magnitud debe ser mayor que  $7.75 + 0.008H$ .

La mayoría de los grandes terremotos ocurren en el Océano Pacífico. La velocidad de propagación de las olas --

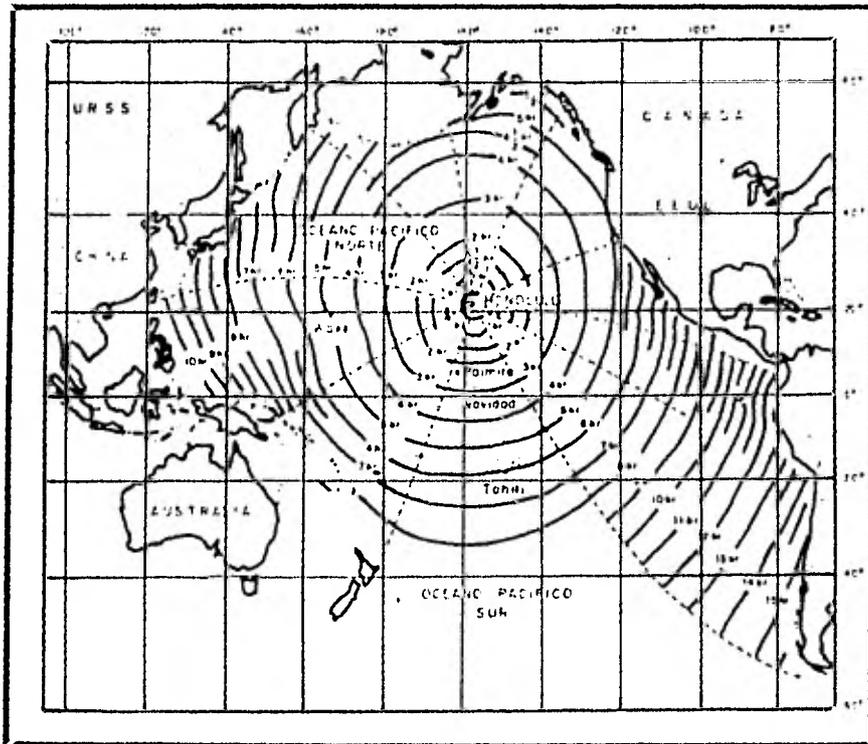


FIGURA II.4 Tiempo de propagación de tsunamis hasta Honolulu.

producidas por ellos es de aproximadamente 700 Kms/hr.

#### II.4 OLAS GENERADAS POR VIENTO

Las olas de *ultragravedad* y de *gravedad* son generadas\_ y hechas crecer por el viento. Por lo común, éstas son las llamadas simplemente "olas".

Las olas presentan una elevación sobre el nivel de reposo del mar llamada *cresta*. Por el contrario, a la de presión de ella se le conoce como *valle*.

A la distancia entre dos crestas o valles consecutivas se le denomina *longitud de onda*, representada por la letra L.

A la diferencia de altura entre cresta y valle consecutivo se le llama *altura de ola* y se anota como H.

El *período* es el tiempo transcurrido entre el paso de dos crestas o dos valles consecutivos y se le representa por la letra T.

La relación que existe entre la altura y la longitud de la ola se conoce como *esbeltez* (H/L).

La *amplitud* de la ola es la mitad de la altura de la ola y se representa por:

$$a = \frac{H}{2}$$

La *profundidad* -d- es la distancia vertical que existe entre el nivel de reposo del mar y el fondo de éste.

A la velocidad de propagación de las olas se le conoce como *celeridad*, y se identifica por C. Dicha celeridad está relacionada con el período y longitud de la ola.

$$C = \frac{L}{T}$$

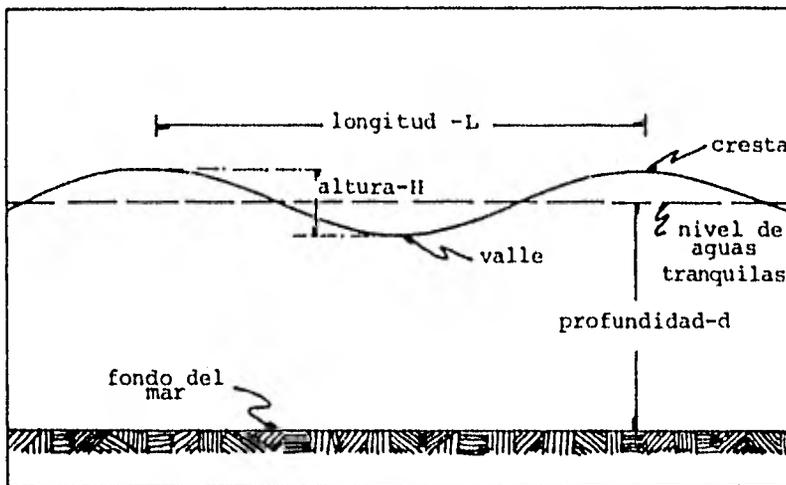


FIGURA II.5 Características Generales del Oleaje.

#### II.4.1 TEORÍAS DEL OLEAJE

Las olas son un fenómeno complejo, difícil, pero no imposible de describir correctamente en términos matemáticos debido a sus características aleatorias e irregulares, además de desarrollarse en tres dimensiones. Mu

chas de sus características pueden ser descritas dentro de límites aceptables.

La más clásica de las teorías fue desarrollada por Airy (1845) cuya importancia reside en su aceptable ajuste para el caso de ondas en profundidades indefinidas y su fácil aplicación, ya que es la única que admite el principio de superposición lineal.

La teoría trocoidal desarrollada por Gerstner (1802) -- fue la primera teoría de ondas de amplitud finita. Si bien su predicción de perfiles de la onda es muy aceptable, el movimiento de la partícula de agua que supone no corresponde con el real.

Stokes (1880) estudió las olas en dos dimensiones para el caso de fluidos con poca fricción, homogéneos, incomprensibles y de tirante uniforme. El desarrollo original se debe a Stokes, pero fue perfeccionado por Lamb (1945). Tiene aplicación en mar profundo.

Para profundidades reducidas, todas las anteriores teorías no presentan validez. La influencia del fondo marino sobre el perfil de la onda y el movimiento de las --

partículas no ha sido contemplado por ellas.

Dentro de las teorías que se han desarrollado y que reflejan con validez suficiente el fenómeno ondulatorio - en profundidades reducidas, merece destacarse la teoría de la onda cnoidal, desarrollada por Korteweg y De Vries a finales del siglo pasado. Su principal dificultad es de orden práctico, ya que se requiere utilizar tablas y ábacos.

En el límite de la teoría cnoidal, cuando se acerca al rompimiento el oleaje, la teoría de la onda solitaria - ofrece una aproximación aceptable, siendo además de sencillo empleo.

De la teoría lineal:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

A            B

en el cual  $g$  es la gravedad,  $T$  es el período,  $\tanh$  es la tangente hiperbólica,  $d$  es el tirante o profundidad y  $L$  es la longitud de la ola. Separando la anterior ex-

presión (A y B) para una longitud de ola dada

$$A) C = f(g)$$

$$B) C = f(d)$$

De lo anterior se pueden hacer las siguientes consideraciones para determinar prácticamente relaciones entre la profundidad y las características de la ola.

*Aguas profundas*, es aquella condición en que la profundidad es lo suficientemente grande para que las características del oleaje sean independientes de la misma, es decir, que la función (B) sea igual a uno, quedando todo en función de la gravedad. Para propósitos de ingeniería, cuando  $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$

$$\tanh \frac{2\pi d}{L} = 0.9963 = 1 \quad (2-3)$$

$$C_0^2 = \frac{gL_0}{2\pi} \quad (2-4)$$

y como  $L = CT$  (de la ecuación 2-1)

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (2-5)$$

$$C_0 = 1.56 T \text{ (en el sistema métrico decimal)}$$

en las cuales el subíndice  $_0$  se refiere a las condiciones en aguas profundas.

Para *aguas reducidas* la celeridad variará preferencialmente con la profundidad. Lo anterior se obtiene cuando  $\tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{2\pi d}{L}$  que prácticamente se logra cuando  $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$

$$C^2 = gd \quad (2-6)$$

Al intervalo que existe en  $\frac{1}{2} > \frac{d}{L} > \frac{1}{25}$  se le conoce como *aguas intermedias o de transición*.

#### 11.4.2 FENÓMENOS DEL OLEAJE

Como se dijo anteriormente, las teorías del oleaje fueron elaboradas considerando que el tirante o la profundidad permanecen constantes. Stoker (1957) presentó -- discusiones del problema del oleaje al acercarse a la costa, con variaciones de la profundidad, pero sus soluciones son complicadas y no han sido utilizadas por los ingenieros.

##### 11.4.2.1 REFRACCIÓN

Una aproximación simple y de fácil uso se debe a Rayleigh (1911). Su suposición fue hecha considerando que

no había pérdidas de energía ni reflexión. Además, concluyó en que el período permanece constante para cualquier variación de profundidad, longitud o altura de ola.

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{L}{T} \\
 C_0 &= \frac{L_0}{T} \\
 \frac{C}{C_0} &= \frac{L}{L_0} = \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2-7)
 \end{aligned}$$

Con lo que se ve que la celeridad y longitud de la onda variarán de acuerdo a la profundidad por la que pase ésta, en los casos en que  $\frac{d}{L} < \frac{1}{2}$ .

Los frentes de ola sufrirán cambios de dirección al ir encontrando obstáculos irregulares por no encontrarse las *batimétricas* —líneas que unen puntos de igual profundidad— paralelas a dichos frentes de ola.

La parte de la onda que se desplaza en aguas con menor profundidad es frenada y por lo tanto se moverá con menor velocidad que aquélla que se encuentra en aguas con mayor profundidad, originando que el frente se flexione de tal manera que tienda a tomar el alineamiento de la batimetría existente.

Al proceso por medio del cual la dirección de una ola cambia en aguas no profundas, se le conoce como *refracción del oleaje*.

Para el cálculo de la refracción han sido elaborados métodos analíticos y métodos gráficos que a la fecha han dado buenos resultados, todos ellos basados en la Ley de Snell.

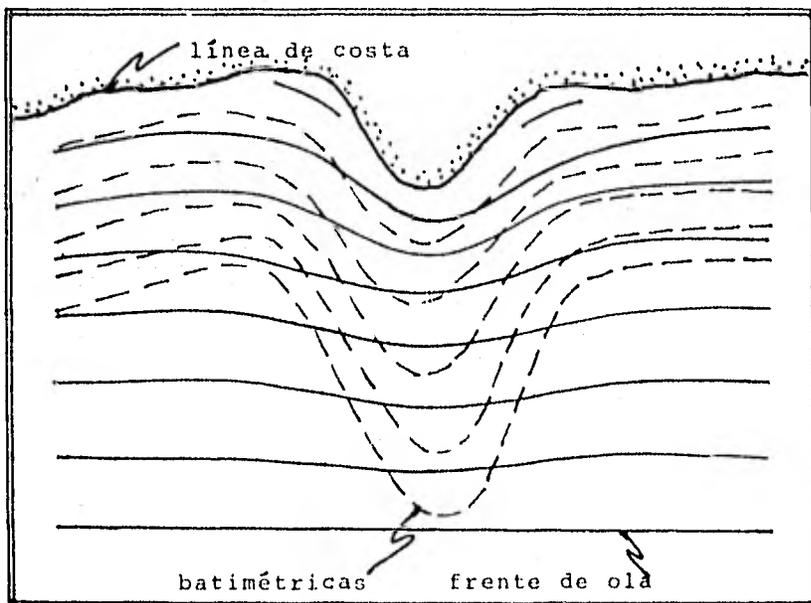


FIGURA II-6 Refracción del Oleaje.

### II.4.2.2 DIFRACCIÓN

Consideremos un sistema de olas interrumpido por alguna estructura, por ejemplo un rompeolas. La porción de las olas que incide en la estructura puede ser reflejada o disipada, pero la porción que no es obstruida por la estructura, conservará casi íntegramente su energía. Al pasar la estructura, se presentará una transferencia de energía hacia la zona resguardada, fenómeno conocido como *difracción del oleaje*.

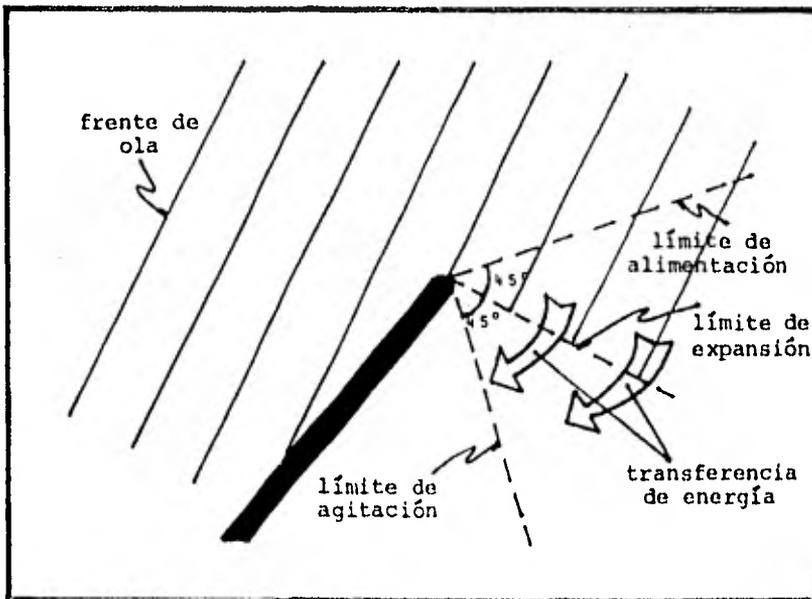


FIGURA II-7 Difracción del Oleaje.

Putnam y Arthur (1948), obtuvieron datos experimentales al comprobar un método propuesto por Penny y Price (1944) para determinar el comportamiento del oleaje después de pasar un rompeolas. Más recientemente, Wiegel (1962) realizó trabajos teóricos de investigación sobre difracción. Blue (1948) y Johnson (1952), han tratado el problema del comportamiento del oleaje después de que ha cruzado por la boca entre dos rompeolas. De la solución matemática de Wiegel, se han elaborado diagramas de difracción, que muestran curvas de igual reducción de altura de la ola en forma adimensional, pudiéndose utilizar para cualquier condición de períodos de oleaje y -- profundidad.

#### II.4.2.3 REFLEXIÓN

Al encontrar las ondas un obstáculo en su trayectoria, su energía puede disiparse o transmitirse parcialmente tras el obstáculo, pero en otros casos puede haber reflexión hacia una dirección distinta a la de incidencia en el obstáculo. Lo anterior puede ocasionar una amplificación de ondas, llegando a sus máximos límites cuando el obstáculo es alguna pared vertical lisa, con lo -

cual prácticamente se duplica la amplitud de la onda.

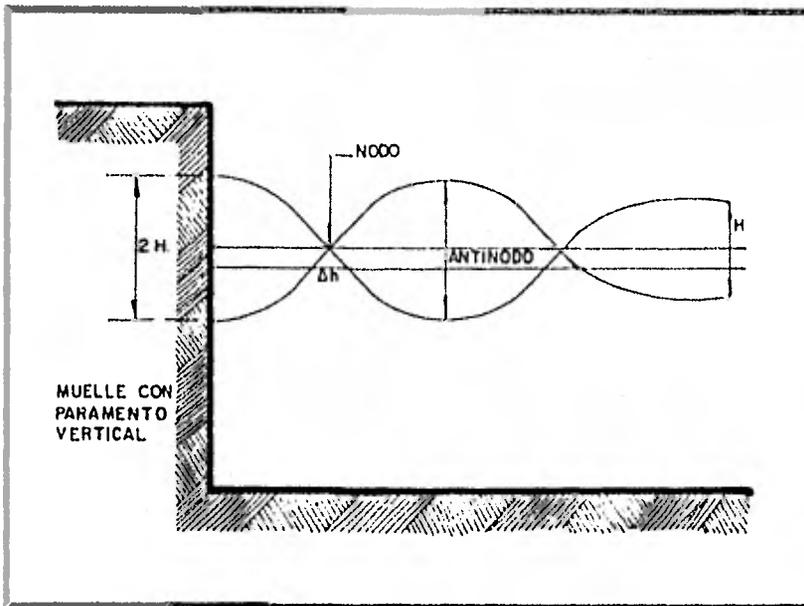


FIGURA II-8 Reflexión del Oleaje.

**CAPITULO III**

## PREDICCIÓN DEL OLEAJE

La energía que reciben los océanos le es transmitida -- casi en su totalidad a través de la superficie libre -- del mar.

Los intercambios de energía cinética, debidos al movimiento relativo entre mar y aire provocan el oleaje, corrientes, mezclados verticales, etc., como resultado de la fricción en dicha interfase.

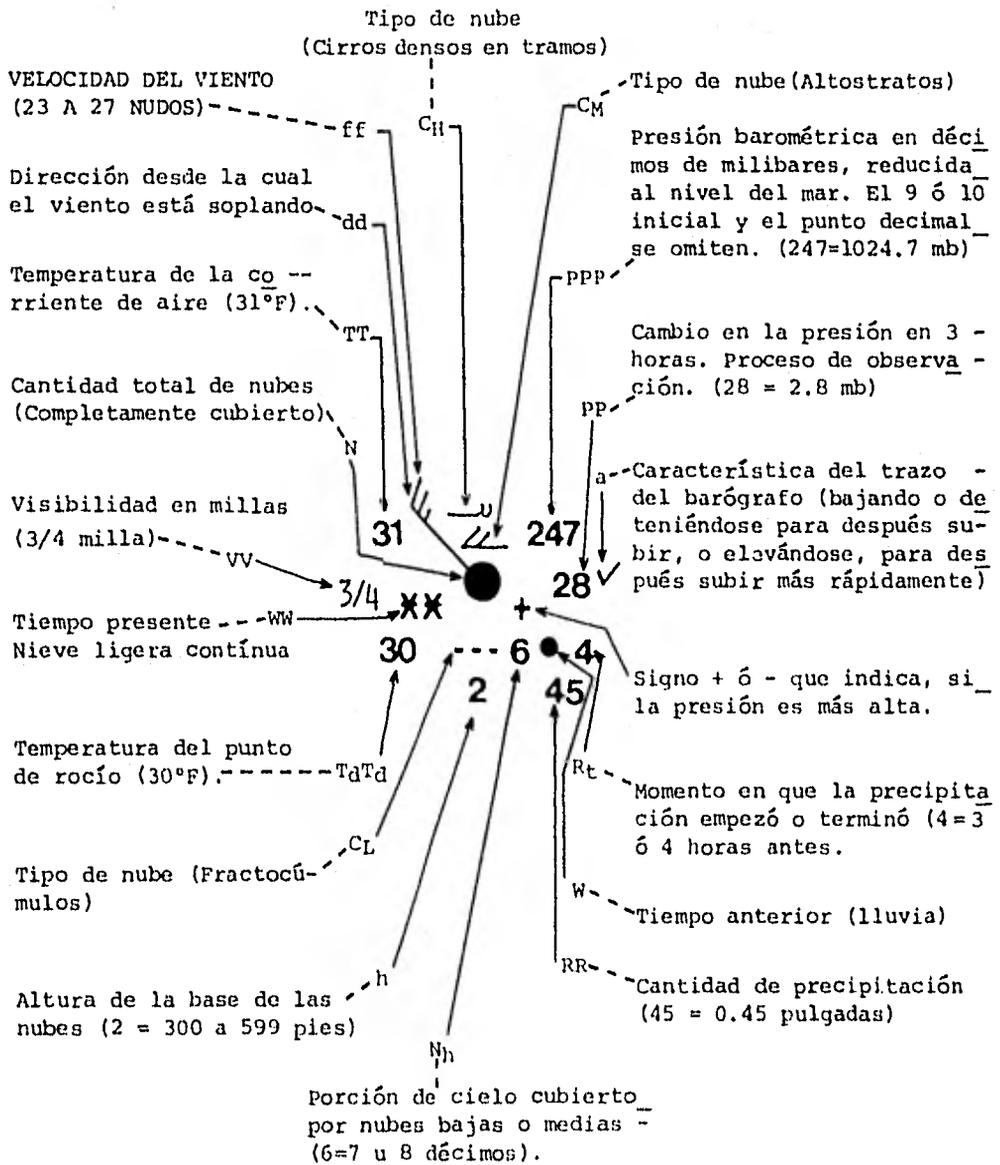
### III.1 ELEMENTOS DE METEOROLOGÍA

Para determinar los efectos ocasionados en el mar es necesario conocer las características del viento que lo producirán. Por medio de observaciones o estimaciones básicas, hechas rutinariamente en estaciones terrestres y embarcaciones se pueden establecer dichas características. Sin embargo, debido a las relativamente pocas observaciones en las áreas oceánicas de interés, es necesario derivar las estimaciones de velocidad y dirección del viento a cartas sinópticas de tiempo, preparadas para una zona amplia.

Las observaciones estándar son hechas rutinariamente a las 0, 6, 12 y 18 GMT en todo el mundo. En México, las mediciones hechas en campo son transmitidas para su -- procesamiento a la Dirección General de Geografía y Meteorología del Servicio Meteorológico Nacional, el -- cual depende de la Secretaría de Agricultura y Recursos -- Hidráulicos (SARH). Por acuerdo internacional, estos -- datos son reportados en un código único.

La información en forma de código es transferida a un\_ mapa del área respectiva. Cada reporte es vaciado en -- la estación específica en que fue hecha la observación, de acuerdo a un modelo estándar. Los símbolos y núme\_ -- ros representan los diferentes elementos meteorológi\_ -- cos que son colocados siempre en una misma posición -- con respecto al círculo que localiza la estación, ex -- ceptuando la velocidad y dirección del viento, y en el caso de estaciones marítimas, movimiento de la embarca\_ ción y dirección del viento distante. Estos, son traza\_ dos de acuerdo a la dirección reportada.

Cada dato es de ayuda para analizar y diagnosticar la\_ situación atmosférica, delinear los patrones de las lí\_ neas de presión y localizar los frentes.



NOTA: Los símbolos literales para cada elemento del tiempo se muestran arriba.  
 Recopilación del Código W.M.O.

FIGURA 3-1 Reporte de una Estación.

La presión en las cartas del tiempo está indicada por isobaras, las cuales se obtienen conectando los puntos de igual presión. Al cerrarse las isobaras nos delinearán *centros de alta o baja presión*, comúnmente representados por H y L, respectivamente.

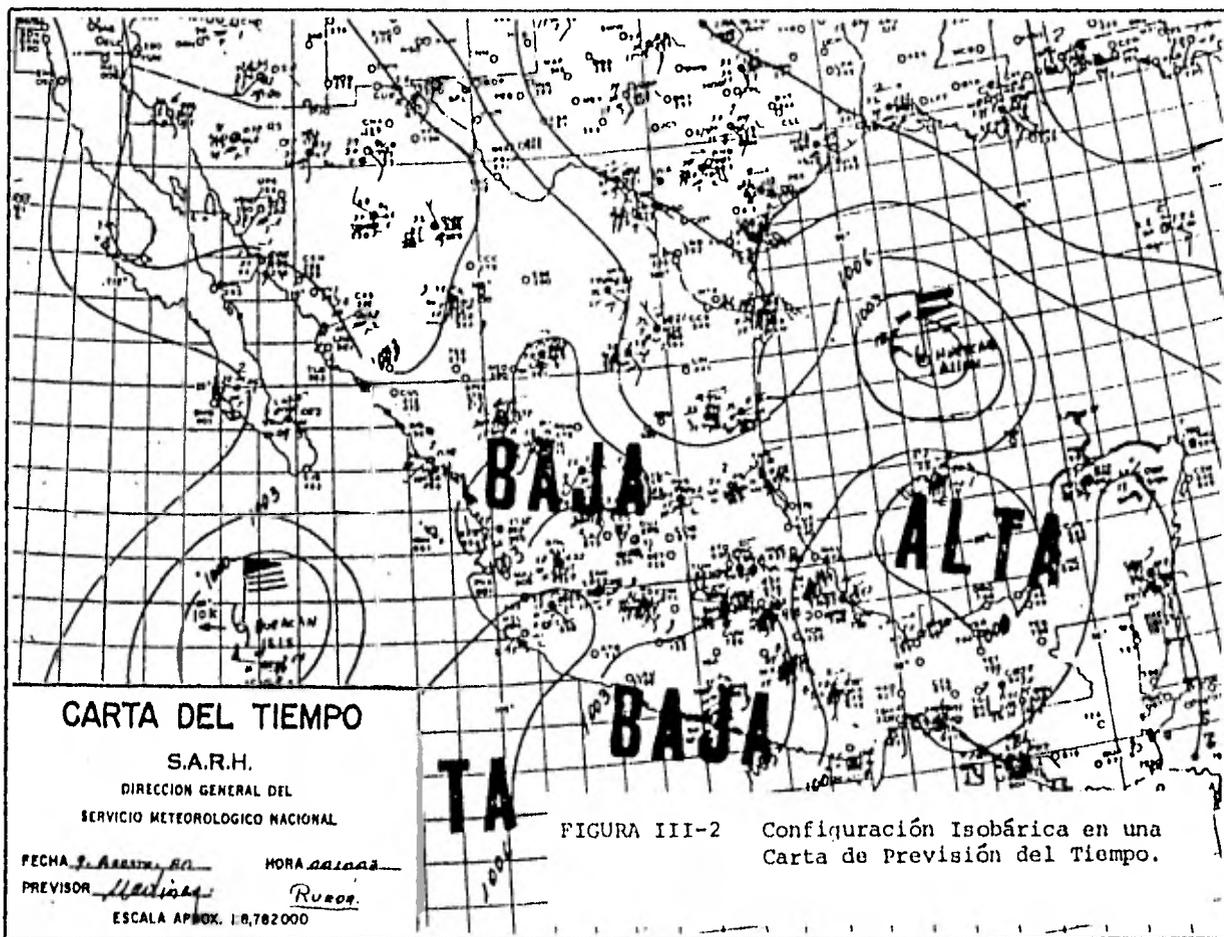
Los términos alta y baja se determinan por su conformación, ya que puede existir en ellos presiones que, en magnitud, sean considerados en otro centro en forma opuesta.

En México, las isobaras son trazadas comúnmente en intervalos de 3 a 5 milibares (mb), pero puede ser diferente dependiendo de la escala usada.

### III.2 ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO

La importancia de los patrones de presión radica en que no sólo muestran la localización de los centros de baja (usualmente tormentas) y altas, sino que también indican las condiciones del viento, ya que éste depende del espaciamiento entre las isobaras.

Para propósitos prácticos, para determinar las condicio



nes del viento en el mar, es necesario contar con infor  
mación en grandes áreas. Si se tuvieran reportes de em-  
barcaciones en el área de interés, dicha información es-  
taría disponible directamente. Sin embargo, este tipo -  
de datos están muy dispersos y las condiciones del vien-  
to deberán estimarse.

Por la relación existente entre el viento y los patro -  
nes de presión, es posible determinar las característi-  
cas de éste a través de las cartas sinópticas del tiem-  
po.

Si se traza una línea perpendicular a un grupo de isoba -  
ras, las presiones a lo largo de ella difieren entre sí,  
puesto que cada isobara cruzada representa diferente --  
presión. Al cambio de presión, considerando de mayor a -  
menor, se le conoce como *gradiente de presión*, y a la -  
distancia entre isobaras se le llama *espaciamiento iso-*  
*bárico*. Si no se presentaran otras fuerzas, el aire se -  
movería a lo largo de la línea perpendicular, hacia la -  
menor presión, es decir, en la dirección del gradiente.  
A mayor gradiente, menor espaciamiento isobárico, co --  
rresponde una mayor velocidad del viento. En la Tierra -  
se presentan otras fuerzas que afectan este movimiento,

como son la de *Coriolis* o de *deflexión* y la de *fricción*.

La fuerza de deflexión es ficticia, y se debe a que nosotros observamos este movimiento desde la Tierra, la cual está girando. Esta fuerza es directamente proporcional a la velocidad del movimiento terrestre y a la latitud. Como consecuencia, los objetos en movimiento que se encuentran en el Hemisferio Norte se deflectan a la derecha, sucediendo lo contrario en el Hemisferio Sur. A este viento idealizado se le denomina *Viento geostrofico* ( $V_g$ ), cuya velocidad está dada por

$$2 V_g \Omega \sin \phi - \frac{1}{\rho_a} \left| \Delta p / \Delta n \right| = 0 \quad (3-1)$$

donde  $\Omega$  es la velocidad angular de la Tierra ( $0.729 \times 10^{-4}$  rad/seg),  $\phi$  es la latitud en grados,  $\rho_a$  es la densidad del aire, y  $\Delta p / \Delta n$  es el valor absoluto del gradiente de presión.

La solución de la anterior ecuación para 3 y 5 milibares de espaciamiento isobárico se muestra en la figura III-3. Para un milibar de espaciamiento se usa una quinta parte de el valor dado para 5 milibares de espaciamiento isobárico.

La ecuación (3-1) se refiere a isobaras rectas y paralelas

$$V_g = \frac{1}{2f\rho \sin \phi} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

para  $\Delta p = 3$  y  $5$  mb

$\Delta n =$  Grados de Latitud

$p = 1013.3$  mb

$T = 10^\circ\text{C}$

$\rho = 1.26$  gm.cm.<sup>-3</sup>

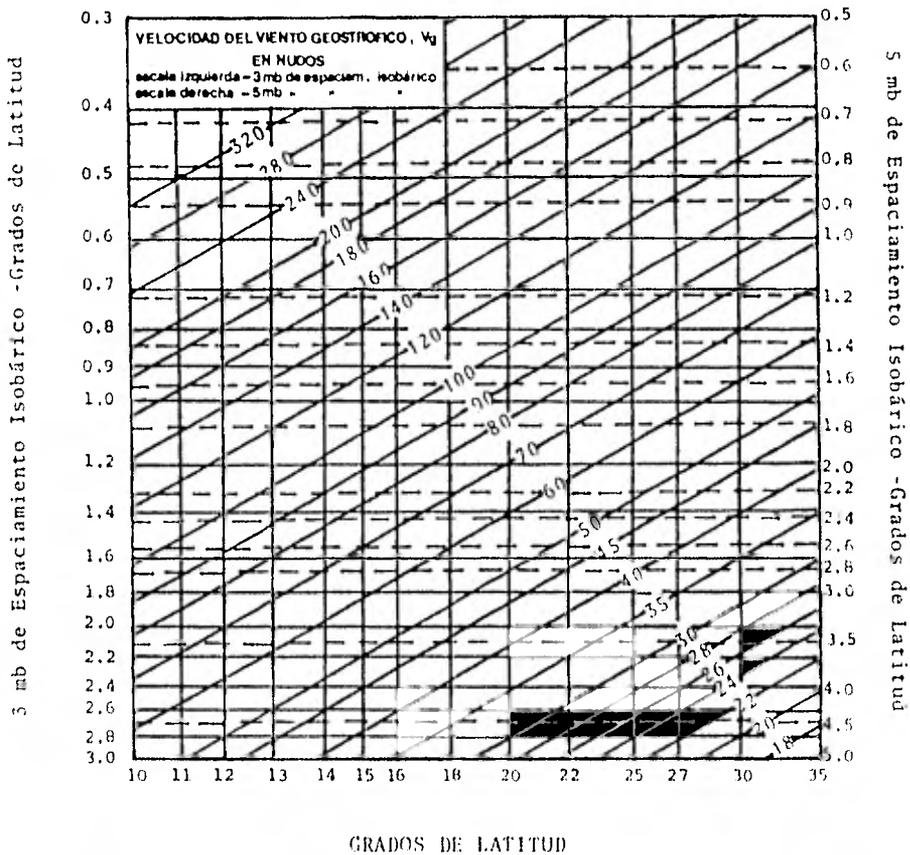


FIGURA III-3 Escala de Viento Geostrofico

las, lo cual no ocurre en la naturaleza. Es necesario - considerar la curvatura del flujo de aire que no será - igual al de las isobaras. La curvatura del flujo será - prácticamente igual a la de las isobaras en sistemas de presión estacionarios o muy lentos. En sistemas de avan ce rápido, por ejemplo las tormentas, la curvatura es - mucho mayor en la parte delantera de la tormenta y en - el lado derecho de los centros de baja presión y del la do izquierdo en los centros de alta presión. En suma, - la fuerza centrífuga debida a la curvatura del flujo de aire debe ser considerada.

Para centros de alta presión, la fuerza centrífuga ac - túa en la misma dirección de la fuerza del gradiente de presión, y en los centros de baja presión actúa en con- tra del gradiente de presión. La velocidad del viento - es el resultado del balance que existe entre esas fuer- zas para las condiciones de equilibrio en la capa lími- te (capa de aire friccionante).

Muchas observaciones correlacionadas con los vientos en la superficie del mar y los vientos geostróficos, mues- tran que los superficiales son considerablemente meno - res en su velocidad, existiendo un cambio de dirección,

entre 15 y 30 grados a la izquierda de las isobaras en el Hemisferio Norte.

La relación entre la velocidad del viento superficial y la velocidad del viento geostrófico, de la ecuación 3-1, está dada en la fig. III-4 y Tabla III-1, tomando en cuenta la diferencia de temperatura entre el mar y el aire.

La velocidad del viento superficial debería checar con los valores reportados por los barcos en el área, los cuales son pasados a cartas. Al usar esas velocidades de viento superficial debe tenerse en cuenta que esos reportes provienen en su mayoría de embarcaciones en las que el personal hace sus estimaciones en base al estado del mar, ondulaciones en las banderas, etc.

### III.3 GENERACIÓN DE OLEAJE

El viento al soplar sobre el mar generará olas. A la superficie de agua en donde actúa el viento con intensidad casi constante y con una dirección tal que genere oleaje capaz de propagarse hasta un punto de interés particular, se le conoce como fetch. Para fines prácti-

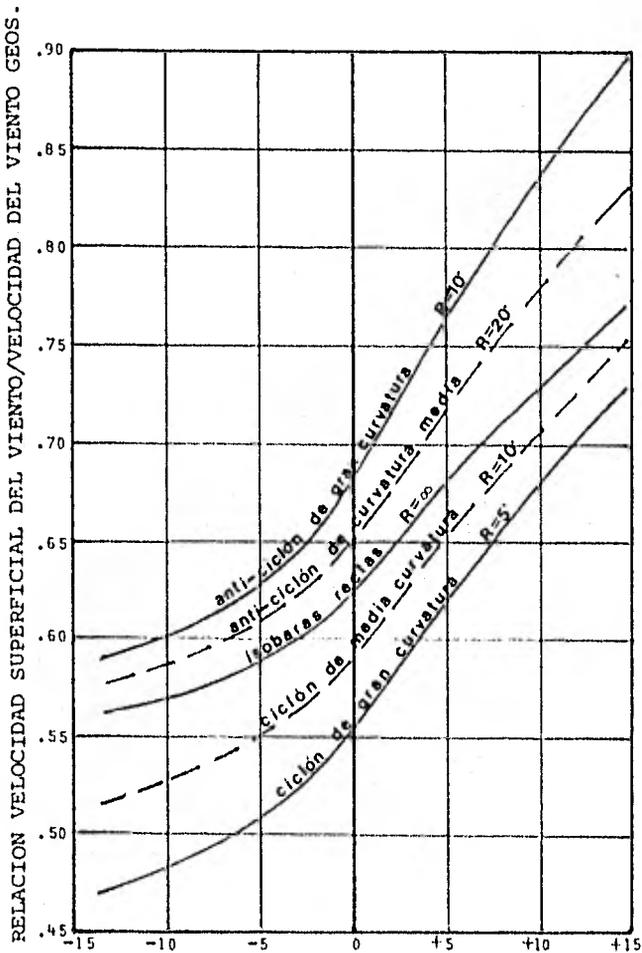


Figura III-4 Relaciones de U/Vg

Temperatura del mar menos Temperatura del aire*	Relación entre Velocidad Sup. y Velocidad Geos. U/Vg.
0 o negativo	0.60
0 a 10	0.65
10 a 20	0.75
20 ó más	0.90

TABLA III-1 Corrección por Temperatura Mar-Aire. (En caso de no contar con datos se recomienda 0.6)

cos, se obtienen resultados que diferirán insignifican-  
temente cuando la variación de la dirección es hasta  
de  $15^\circ$ , deteriorándose significativamente cuando la des-  
viación de la dirección excede  $45^\circ$ . El cálculo de los -  
resultados presenta sensitivos cambios cuando varía la\_  
velocidad del viento 1 nudo (aprox. 0.5 m/seg), pero no  
es posible estimar la velocidad del viento en grandes -  
regiones con esta precisión. En la práctica, da buenos\_  
resultados trabajar con variaciones hasta de 5 nudos --  
(2.5 m/seg).

### III.3.1 DELIMITACIÓN DEL FETCH

Los límites del fetch son delimitados por:

- a) La línea de costa
- b) Frentes Meteorológicos
- c) La curvatura de las isobaras
- d) La separación entre isobaras

El ángulo que forma la dirección del viento con la lí -  
nea que une el área de generación y el punto en el que\_  
se desea conocer las condiciones del oleaje debe ser me  
nor de  $30^\circ$  en zonas donde las isobaras sean casi rectas,

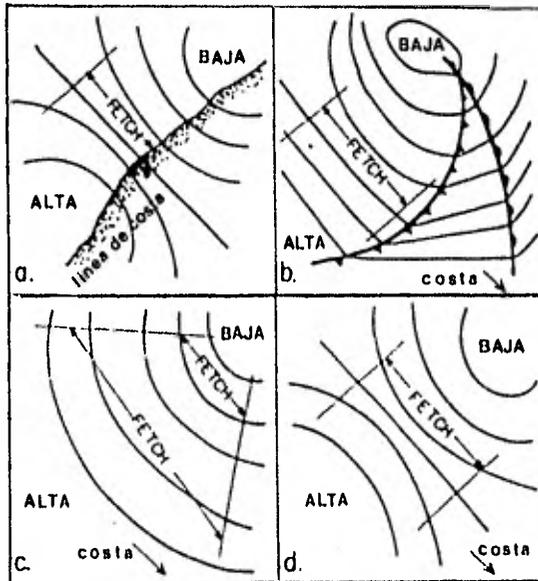


FIGURA III-5 Límites del fetch para diferentes tipos de isobaras.

y de  $45^\circ$  en zonas de isobaras curvas. Arriba de estos valores los resultados se deterioran extraordinariamente.

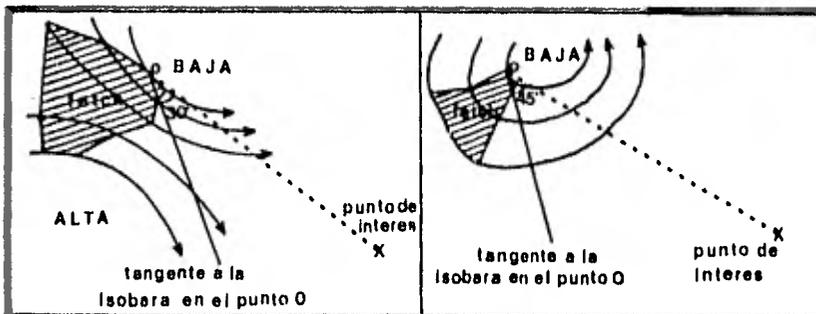


FIGURA III-6 Trazo del fetch en isobaras rectas y curvas.

### III.3.2 EFECTO DEL ANCHO DEL FETCH

Generalmente el efecto del ancho del fetch en una área de generación, en cuanto a la limitación del crecimiento del oleaje se refiere, ha sido despreciado debido a que para la generación de olas en el océano la gran mayoría de fetches tienen anchos muy semejantes a sus longitudes.

En tales casos, el efecto de limitación del ancho del fetch es insignificante. Sin embargo, cuando se trata de generación de oleaje en bahías, ríos, lagos, presas, etc., los fetches no están limitados en su ancho por las perturbaciones meteorológicas, generalmente de gran amplitud en los océanos, sino por la topografía que se encuentra alrededor de la masa de agua.

Por lo anterior, se observan fetches que tienen longitudes bastante mayores que sus anchos, y el efecto del ancho del fetch llega a ser de bastante importancia dado que resultan olas de menor altura a las que resultarían en aguas menos protegidas, bajo la influencia de condiciones de generación semejantes.

Un método para determinar el efecto del ancho del fetch

en la generación del oleaje fue propuesto por Saville - (1954). La fig. III-7, basada en este método, indica el fetch efectivo en relación a un ancho uniforme de fetch.

La línea de costa es usualmente irregular, y el método anterior no es aplicable. Para este caso, se usa un método basado en el concepto de que el ancho del fetch es restringido por la geometría del lugar, disminuyendo la relación ancho/longitud y con ello el fetch efectivo. Este método consiste en la construcción de 15 radios -- con centro en el punto de interés, separados en intervalos de  $6^\circ$  (limitados por un ángulo de  $45^\circ$  a cada lado de la dirección del viento) y extendiéndolos hasta que intercepten las orillas del cuerpo de agua.

La componente de la longitud de cada radio, en la dirección paralela a la del viento, se multiplica por el coseno del ángulo que se forma entre el radio y la dirección del viento. La longitud del fetch efectivo será el resultado de la suma de todos los productos anteriores, aplicados a cada radio, y dividiendo entre la suma de los cosenos de los ángulos. Cabe señalar que no es requisito que el intervalo entre los radios sea de  $6^\circ$ , pudiendo adoptarse otro espaciamiento.

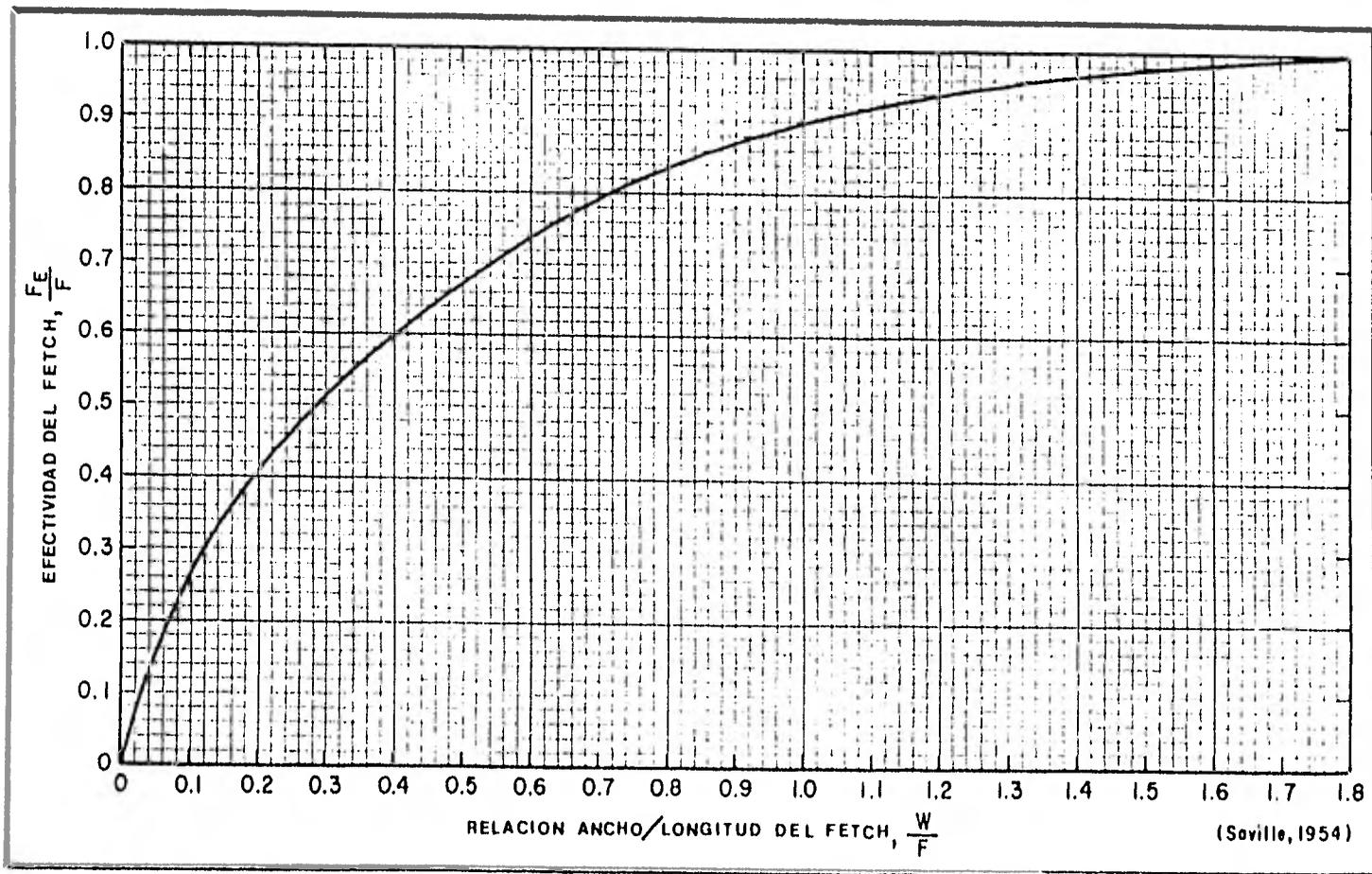


FIGURA III-7 Relación entre el ancho del fetch y la longitud del fetch para fetches regualres

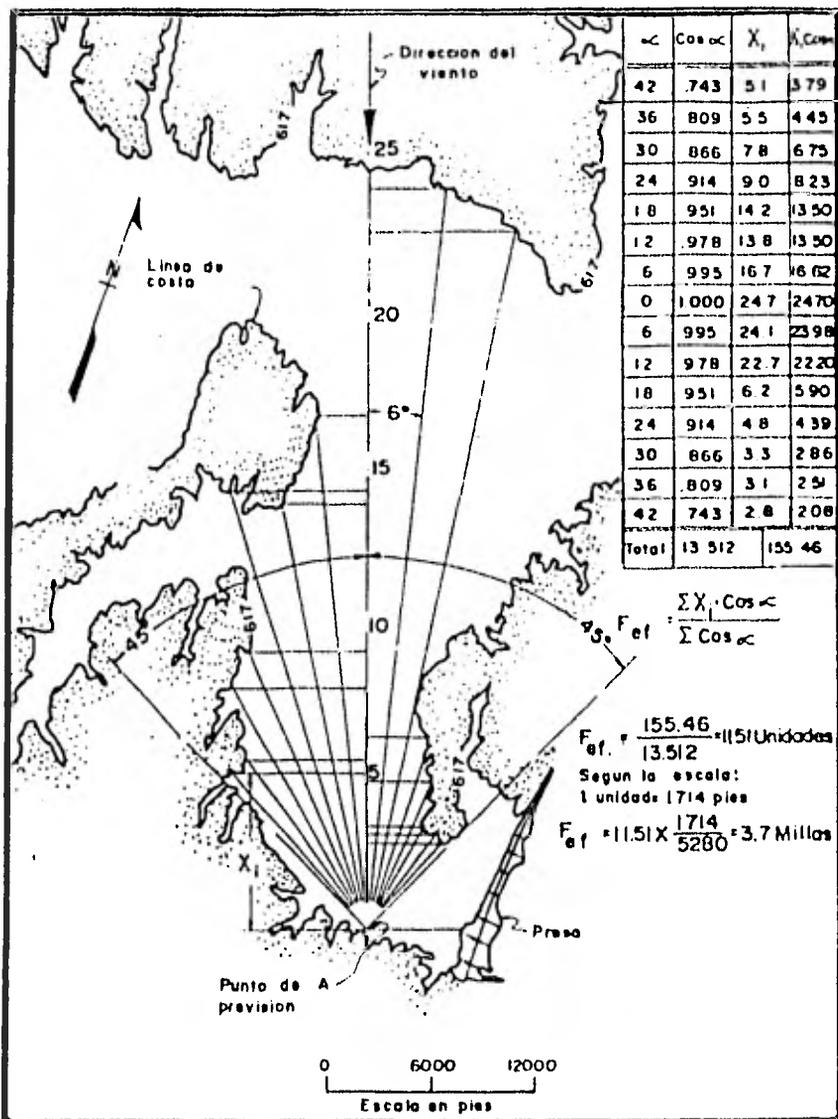


FIGURA III-8 Obtención del fetch efectivo en el caso de costas irregulares y áreas de agua limitadas

### III.3.3 FETCH Y DURACIÓN MÍNIMOS

En la realidad, al estudiar una serie de cartas meteorológicas que nos definan una tormenta, vemos que tanto los fetches como la duración son limitados, pudiendo ocurrir lo siguiente:

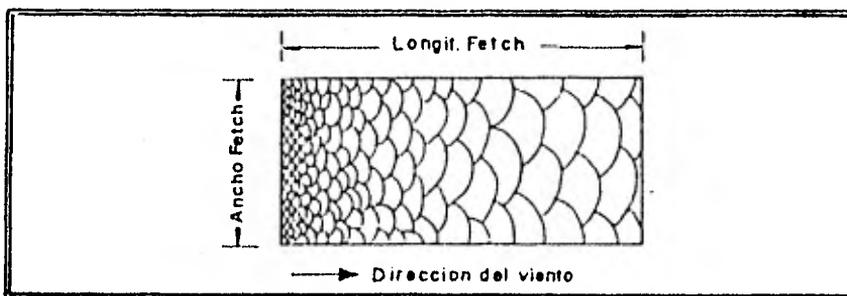


FIGURA III-9 Esquema del fetch.

- a) Fetch y duración muy grandes. En este caso, el oleaje es *totalmente desarrollado* (Full Arisen Sea-FAS), de tal manera que como consecuencia del viento, las características fundamentales del oleaje (altura y período) crecerán hasta alcanzar una cierta magnitud que no podrá ser superada ya que la energía captada al viento, posteriormente, y la consumida en mantener la propagación del oleaje será la misma. Al fetch y duración necesarios para producir el oleaje totalmente desarrollado se les denomina *fetch y duración mínimos*.

- b) Fetch menor que el mínimo. Este es el caso del oleaje *parcialmente desarrollado*, no alcanzando la altura y período posibles para el fetch mínimo.
- c) Duración menor que la mínima. Se analiza considerando un fetch ficticio menor al mínimo y una duración igual a la mínima, usando la siguiente fórmula:

$$\frac{gt}{U_{10}} = \frac{100}{3} \left( \frac{gF^{3/4}}{U_{10}^2} \right) \quad (3-2)$$

en la cual  $t$  es la duración real,  $U_{10}$  es la velocidad del viento a 10 m de la superficie del mar, que prácticamente es igual a  $V_g$ , y  $F$  es la longitud del fetch ficticio, con resultados equivalentes.

#### III.3.4 SITUACIÓN DEL OLEAJE RESPECTO A LA ZONA DE GENERACIÓN,

Si se divide la superficie sobre la que sopla el viento en celdas elementales, en las que independientemente unas de otras se crean ondas incipientes, con período, altura y dirección de propagación aleatoria, al entrelazarse unas con otras dan lugar al estado del mar conocido como *oleaje local* (Sea), en el que las olas grandes y -

pequeñas se suceden sin orden aparente.

Las características más acusadas de las olas de tipo local son su alta esbeltez (relación  $H/L$ ), que provoca al llegar a un cierto límite la rotura de la cresta, con la aparición de los típicos "rizos", la escasa longitud de las crestas y el variado rango de direcciones.

Se ha podido observar así mismo que son las olas más cortas, que se propagan oblicuamente a la dirección media del viento, las que viajan con mayor velocidad. Por ello, en fetches pequeños es frecuente observar que los primeros aspectos del oleaje incidente son los trenes de olas oblicuos, cuya bisectriz es precisamente la dirección principal del viento.

Una vez que el efecto del viento cesa, al abandonar estas olas el área de generación, a lo largo del tiempo, se produce una unión en aquellas ondas de período similar, que se cortan según un ángulo, ocasionando una simplificación del oleaje hacia un período y dirección únicos, dando lugar al oleaje distante (Swell), que a pesar de todo no es reducible a una función analítica, ya

que se suceden trenes de olas con sólo un cierto ritmo.

Las características propias del oleaje distante son las de esbeltez baja y una apariencia general ordenada, motivada por la gran longitud y paralelismo de sus crestas.

El área sobre la que se mueven es conocida como *área de decaimiento*, puesto que las olas se van alterando suavemente según viajan a través del océano, en aguas profundas.

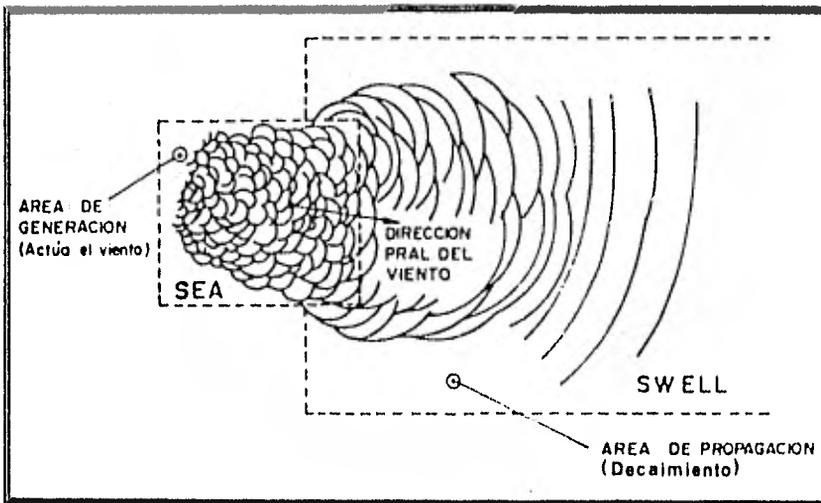


FIGURA III-10 Zonas de generación y propagación del oleaje.

Las olas con período más largo, al tener mayor celeridad, viajan más de prisa que las que tienen períodos --

más cortos y en consecuencia, los distintos trenes de olas se dispersan sobre la superficie del océano.

### III.3.5 DECAIMIENTO DEL OLEAJE

Tras abandonar el área de generación, las olas tienden a formar un amplio abanico, conformándose poco a poco sus crestas en círculos de gran radio, casi uniformes. El cálculo del período y altura de olas en una zona de decaimiento puede afrontarse partiendo de los valores correspondientes al punto de salida del oleaje de su área de generación.

En la Fig. III-11 se muestran las curvas de decaimiento para altura de ola a partir de datos reales obtenidos por diversos observadores, pero son de uso más común los ábacos de la Fig. III-12, propuestos por Brestchneider (1952), mediante los cuales es posible establecer dichas relaciones de altura y período, conociendo la altura y período del oleaje al salir de la zona de generación ( $H_F$ ,  $T_F$ ), la longitud del fetch mínimo ( $F_m$ ) y la distancia de decaimiento ( $D$ ).

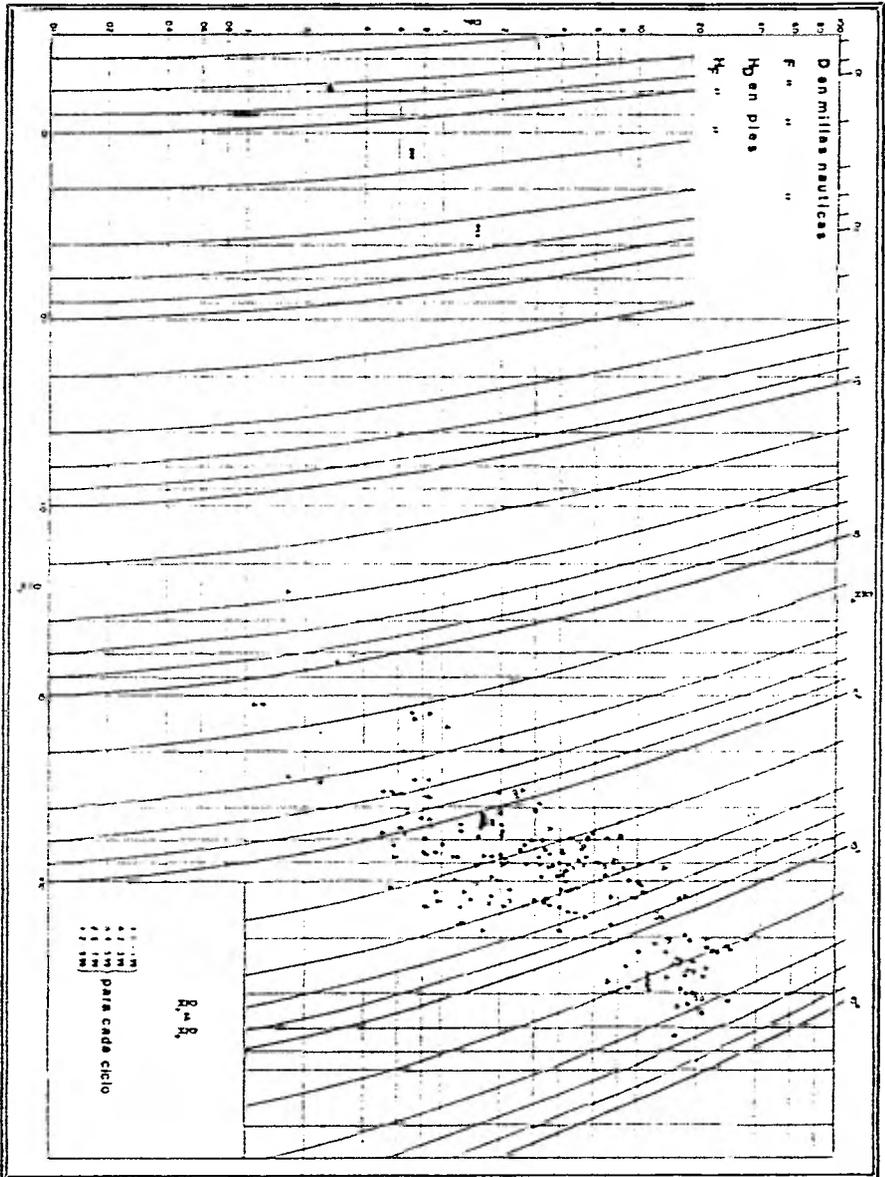


Fig. III-11. Grafica de Decaimiento para disminucion de alturas.

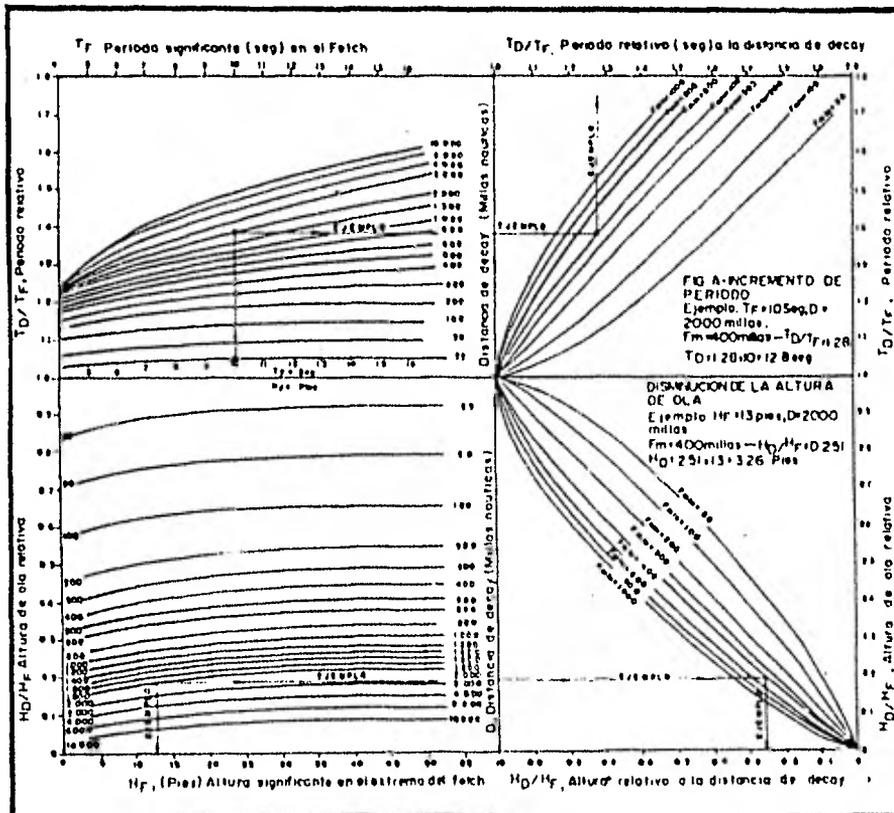


FIGURA III-12 Curvas de decaimiento

La distancia de decaimiento se determina midiendo la distancia recta entre el frente del fetch y el punto de interés.

Si el punto de interés se localiza en la costa, será necesario considerar los efectos del fondo, refracción, fricción, etc., que se presentan en la translación de la ola hacia la costa, desde el límite de aguas profundas.

Con la fig. III-13 es posible calcular el tiempo que tarda en viajar la ola desde el fetch hasta la costa, conociendo el período de la ola en decaimiento ( $T_D$ ) y la distancia de decaimiento.

El tiempo de translación ( $t_D$ ) se determina como el cociente de la distancia de decaimiento entre la celeridad de grupo en aguas profundas, teniendo un período igual a  $T_D$ .

#### III-4 PREDICCIÓN DEL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Para la predicción del oleaje han sido desarrollados diversos métodos empírico-teóricos.

El denominado SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider) es re-

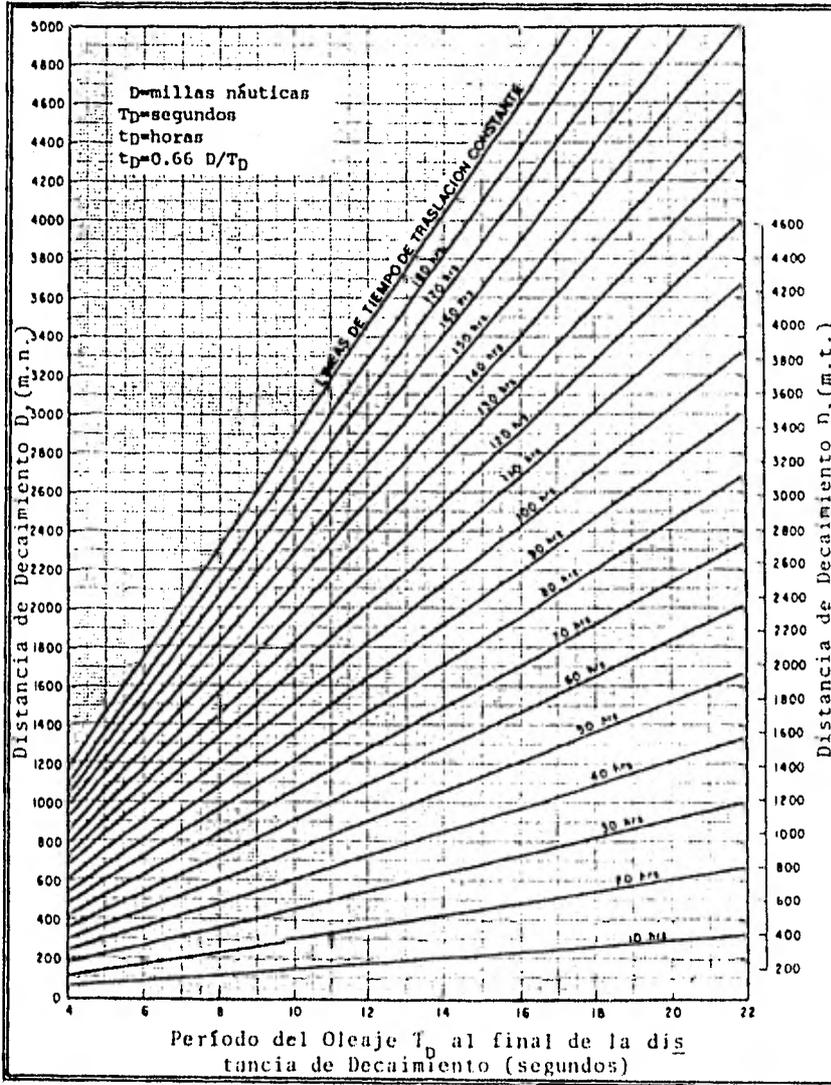


FIGURA III-13 Tiempo de traslación del Swell basado en  $T_D = D/Cg$

comendable cuando se dispone de pocos datos y tiempo. -  
 Consiste en una serie de curvas de utilidad para la pre  
dicción de oleaje, figs. III-14 y III-15, las cuales re  
 presentan las ecuaciones empíricas siguientes:

$$\frac{g^H}{U^2} = 0.283 \tanh \left[ 0.0125 \left( \frac{g^F}{U^2} \right)^{0.42} \right] \quad (3-3)$$

$$\frac{g^T}{2\pi U} = 1.20 \tanh \left[ 0.077 \left( \frac{g^F}{U^2} \right)^{0.25} \right] \quad (3-4)$$

$$\frac{g^t}{U} = K_e(x) \quad (3-5)$$

donde

$$(x) = \left\{ A \left[ \text{Ln} \left( \frac{g^F}{U^2} \right) \right]^2 - B \text{Ln} \left( \frac{g^F}{U^2} \right) + C \right\}^{1/2} +$$

$$+ D \text{Ln} \left( \frac{g^F}{U^2} \right)$$

$$\text{Ln} = \log_e$$

$$K = 6.5882$$

$$A = 0.0161$$

$$B = 0.3692$$

$$C = 2.2024$$

$$D = 0.8798$$

Conociendo la velocidad del viento superficial (U), la la  
 longitud del fetch (F) y la duración del viento (t), --  
 con las ecuaciones (3-3), (3-4) y (3-5) es posible de -

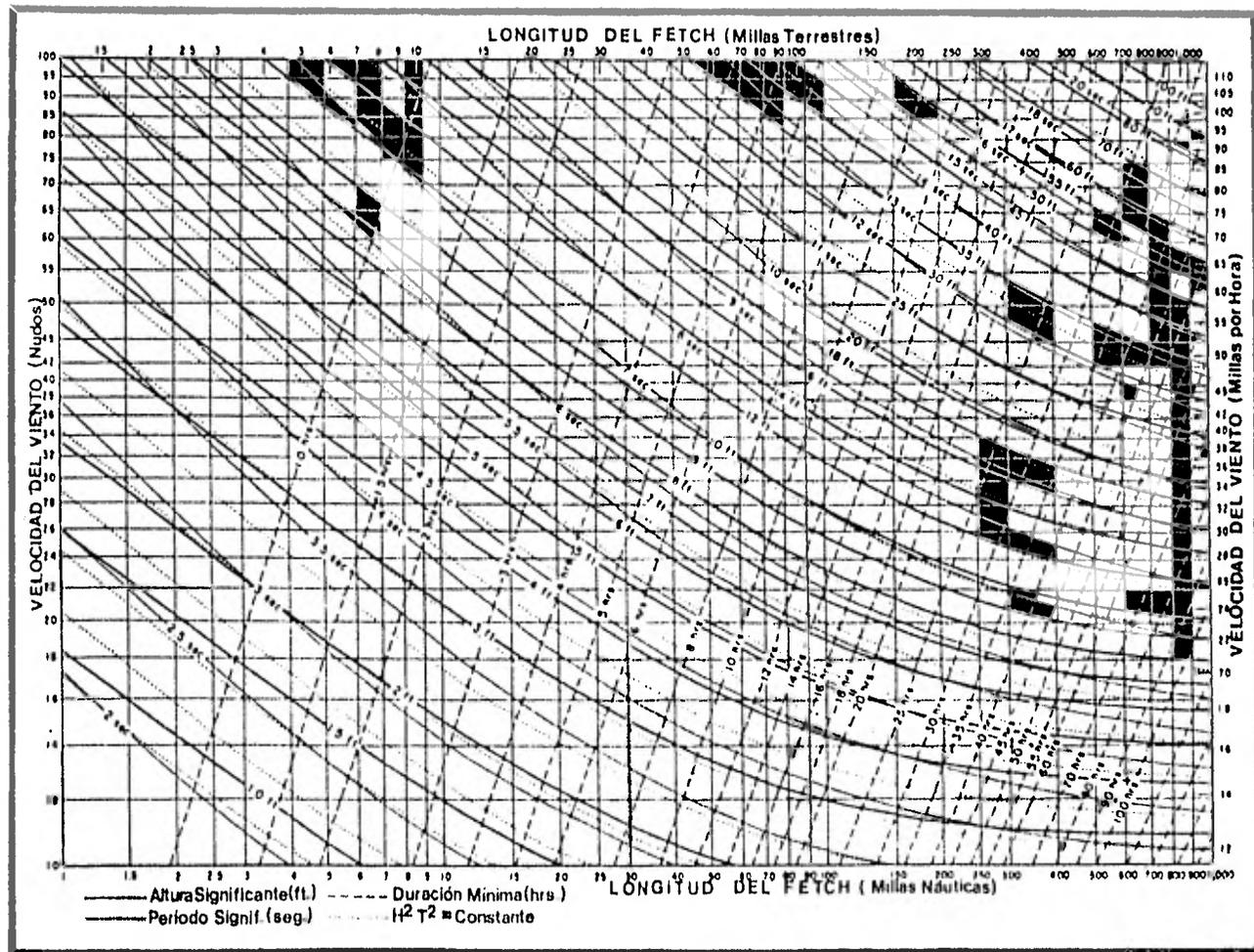


FIGURA III-14 Curvas para predicción del oleaje en aguas profundas en función de la velocidad del viento, longitud del fetch y duración del viento (para fetches de 1 a 1000 millas)

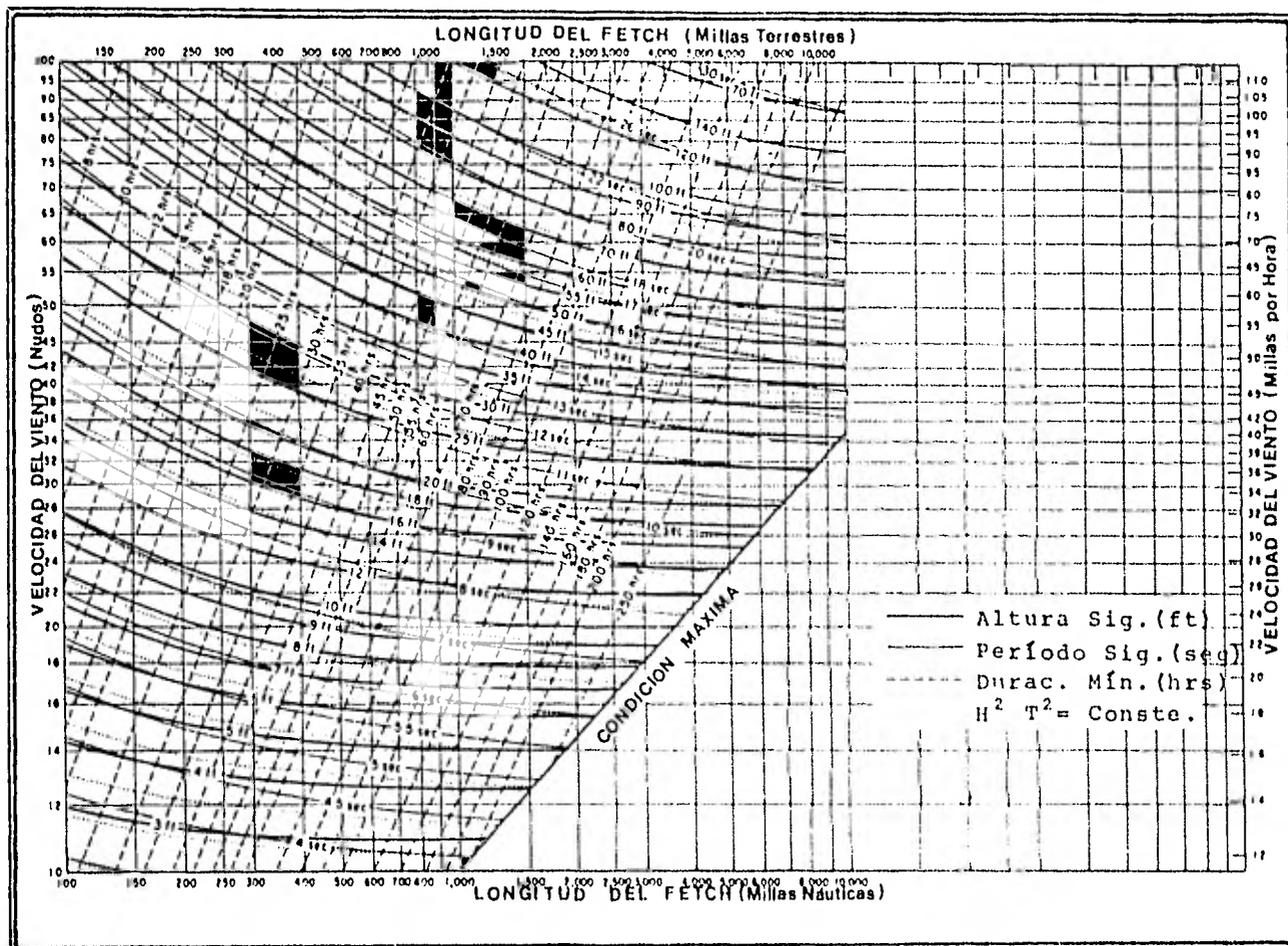


FIGURA III-15 Curvas para predicción del oleaje en aguas profundas, en función de la velocidad del viento; longitud del fetch y duración del viento (Para fetches de 100 a 1000 millas)

terminar la altura de la ola significativa ( $H_f$ ) y el período significativo ( $T_f$ ), al final del fetch. En las - - figs. III-14 y III-15, teniendo como datos la velocidad del viento superficial ( $U$ ) y las correspondientes lí - - neas del fetch y duración, la que intersecte primero, - es posible determinar  $H_f$  y  $T_f$ , así como el fetch y tiem po de acción mínimos que pueden limitar las caracterís - ticas del oleaje.

Cuando sean usadas varias cartas sinópticas del tiempo, para determinar las características del oleaje, los valores de  $U$ ,  $F$  y  $t$  pueden ser tabulados para la primera - carta. Para el mismo fetch en una carta posterior, - - - transcurrido un tiempo  $Z$  después de la primera carta, - se volverán a tabular  $U$ ,  $F$  y  $T$ . Usando el subíndice 1 - para la primera carta y 2 para la segunda, si  $U_2 = U_1$ , - entonces  $t_2 = t_{m1} + Z$ . Si resulta  $U_2 \neq U_1$ , se considera que el cambio de velocidad de  $U_1$  a  $U_2$  ocurrió instantáneamente en el tiempo  $Z/2$ , teniendo los datos de la pri mera carta validez para una duración  $t_1 = t_{m1} + Z/2$  y - el fetch una longitud  $F_1 = F_{m1} + \Delta F/2$ , donde  $\Delta F$  representa el cambio en la longitud del fetch entre las dos - cartas.

Por las suposiciones anteriores, la energía transmitida al oleaje por  $U_1$ , con una duración mínima  $t_{m1} + Z/2$  para un fetch mínimo  $F_{m1} = \Delta F/2$ , no cambia, desprendiéndose -- que  $U_2$  transmite energía al oleaje que ya contiene la - energía debida a  $U_1$ .

En las figs. III-14 y III-15 en líneas punteadas se representa el valor constante de  $H^2 T^2 l_0$  que indica un valor constante de energía de oleaje. Como primera aproximación, la energía del oleaje en aguas profundas está - dada por:

$$E_0 = \frac{\rho g H^2 L_0}{8} \quad (3-6)$$

Si la energía ha sido impartida a las olas por la ac- -- ción única de  $U_2$ , esas olas serían de una longitud y al - tura resultante de las figs. III-14 y III-15 al inter- - sectar  $U_2$  con la línea de energía constante correspon- - diente a la energía impartida por  $U_1$ , con una duración - mínima de  $t_{m1} + Z/2$  ó un fetch mínimo  $F_{m1} + \Delta F/2$ . Incre- - mentando la duración mínima, en este punto, con  $Z/2$  o - cambiando el fetch mínimo con  $\Delta F/2$ , las condiciones de oleaje - bajo  $U_2$  en el momento de la segunda carta del -- tiempo podrán ser determinadas de una manera aproximada.

Si la velocidad del viento  $U_2$  es menor que  $U_1$ , el procedimiento a seguir es similar.

### III.5 PREDICCIÓN DEL OLAJE EN AGUAS REDUCIDAS

Un bajo tirante de agua afectará la generación de olas. Para ciertas condiciones de viento y fetch, las alturas de oleaje serán menores y los períodos más cortos si el lugar de generación se encuentra en aguas de transición o reducidas, en relación a las que se formarían en aguas profundas. Actualmente no se ha publicado algún método teórico para la predicción del oleaje generado en aguas bajas.

El método dado por Bretschneider ha sido modificado para este caso, usando los resultados de Ijima y Tang (1966) y se presentará a continuación. Bretschneider y Reid (1953) consideraron pérdidas de energía debidas a la fricción del fondo y a la percolación.

La selección de un apropiado factor de fricción debido al fondo ( $f_f$ ) para el uso de técnicas de predicción es función de criterio personal. Un valor de  $f_f = 0.01$  se ha utilizado para obtener las figs. III-16 a III-25, en

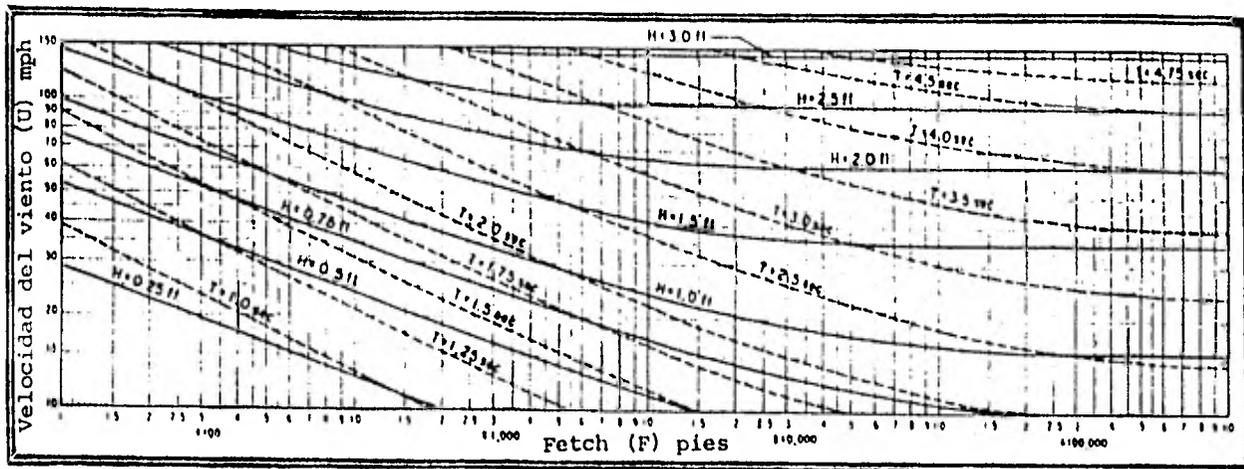


FIGURA III-16 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 5 pies

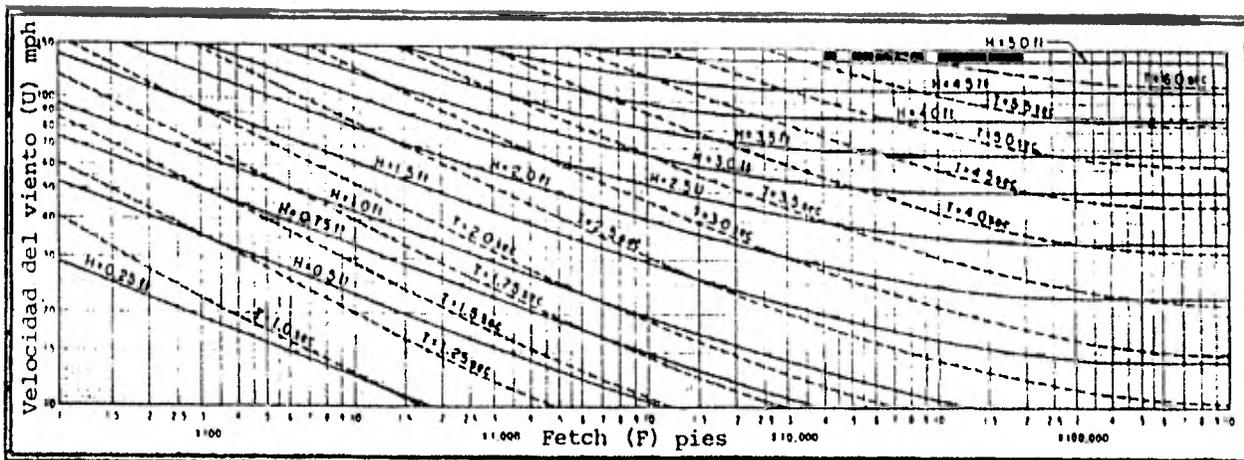


FIGURA III-17 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 10 pies

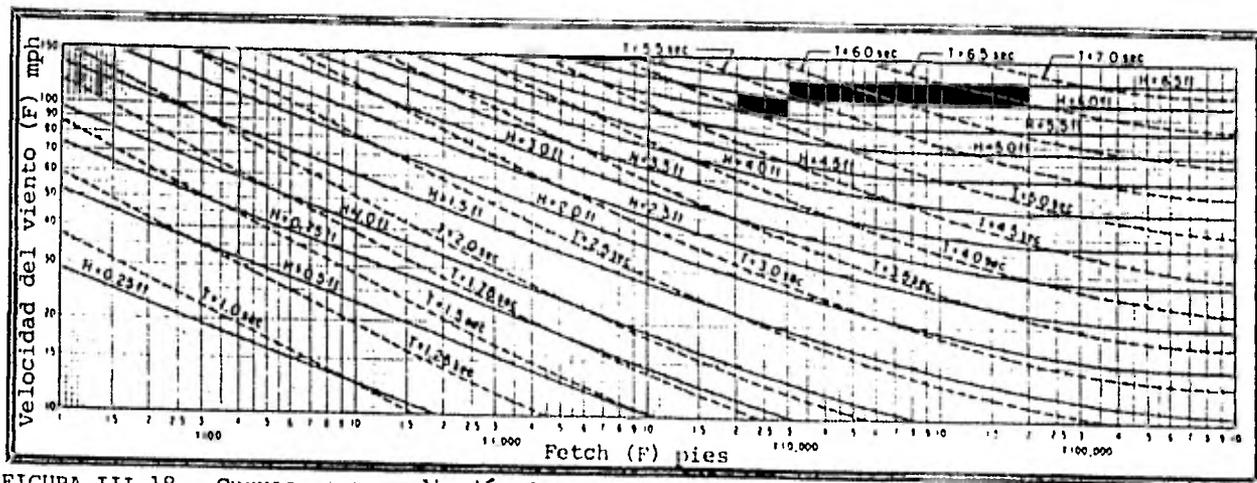


FIGURA III-18 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 15 pies

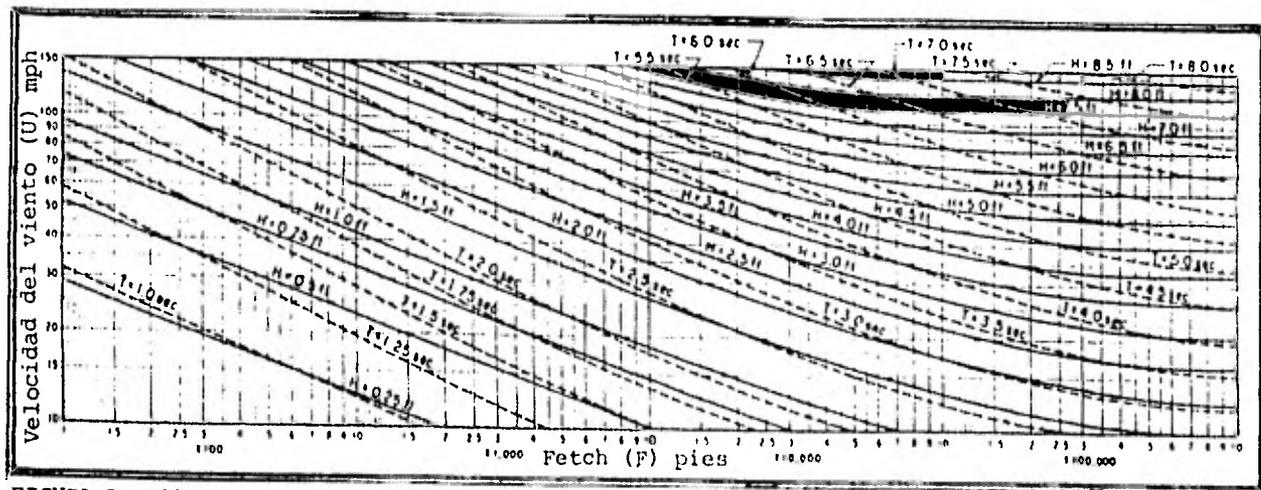


FIGURA III-19 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 20 pies

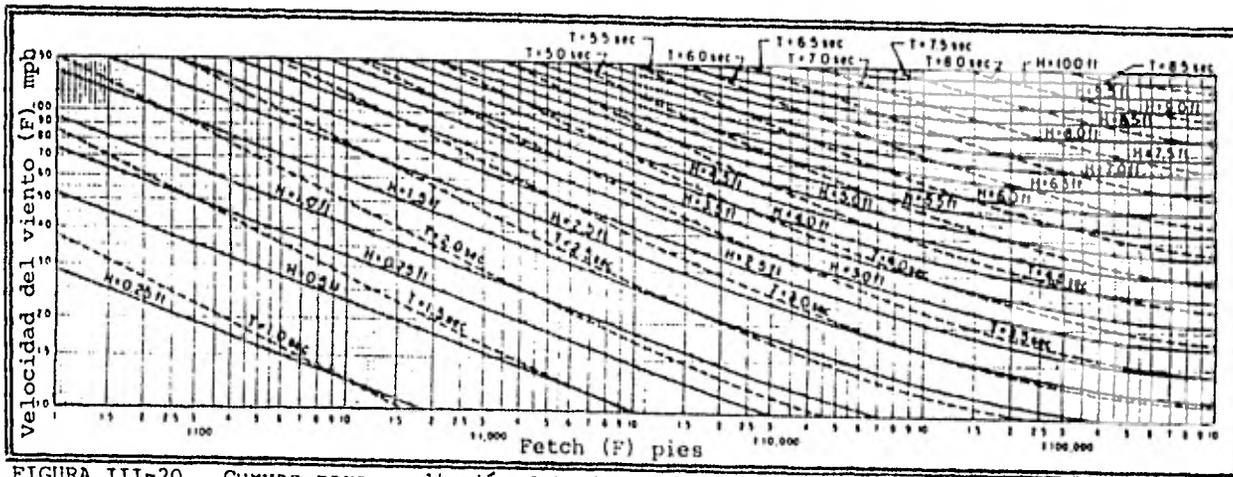


FIGURA III-20 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 25 pies

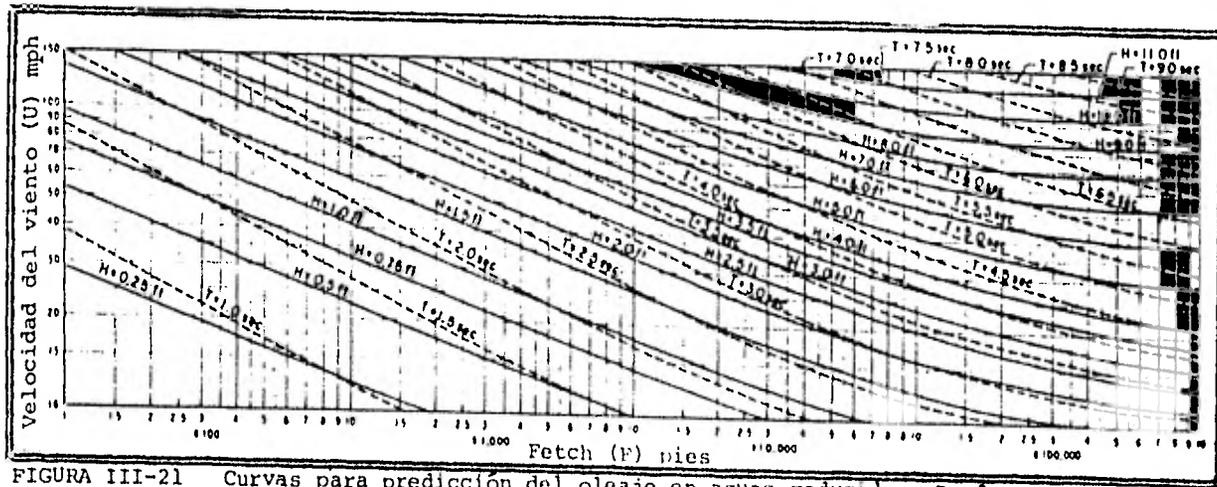


FIGURA III-21 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante = 30 pies

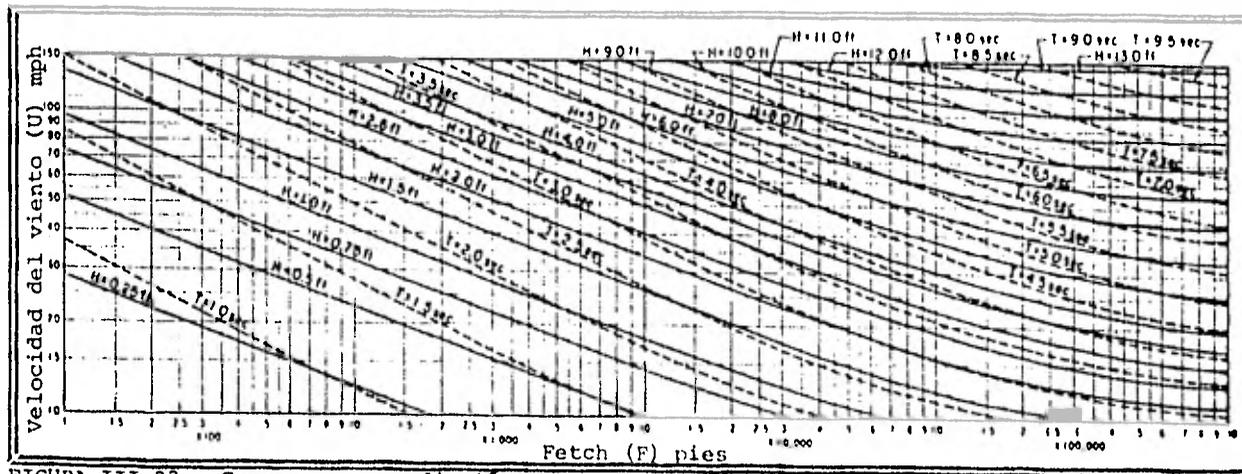


FIGURA III-22 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante=35 pies

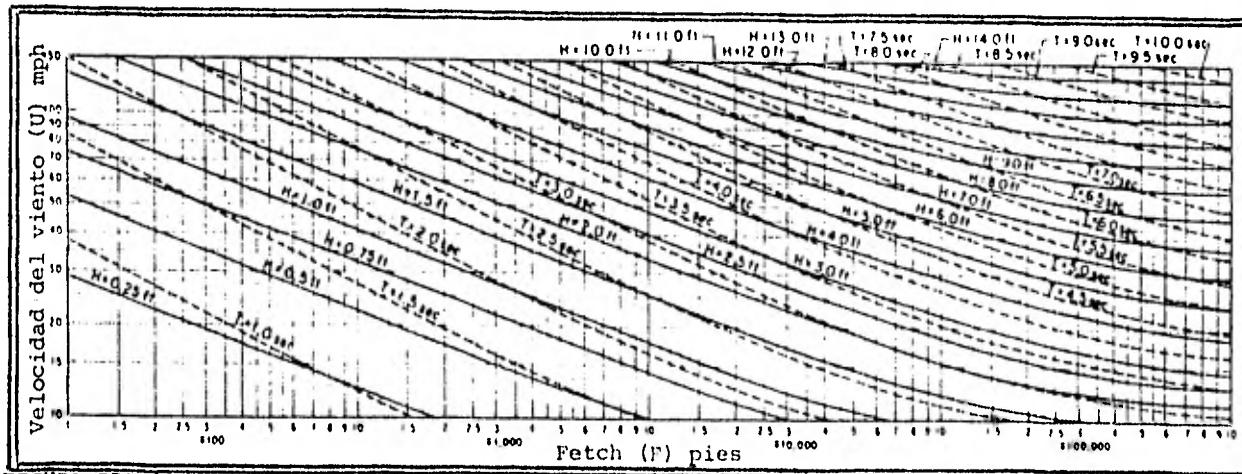


FIGURA III-23 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante=40 pies

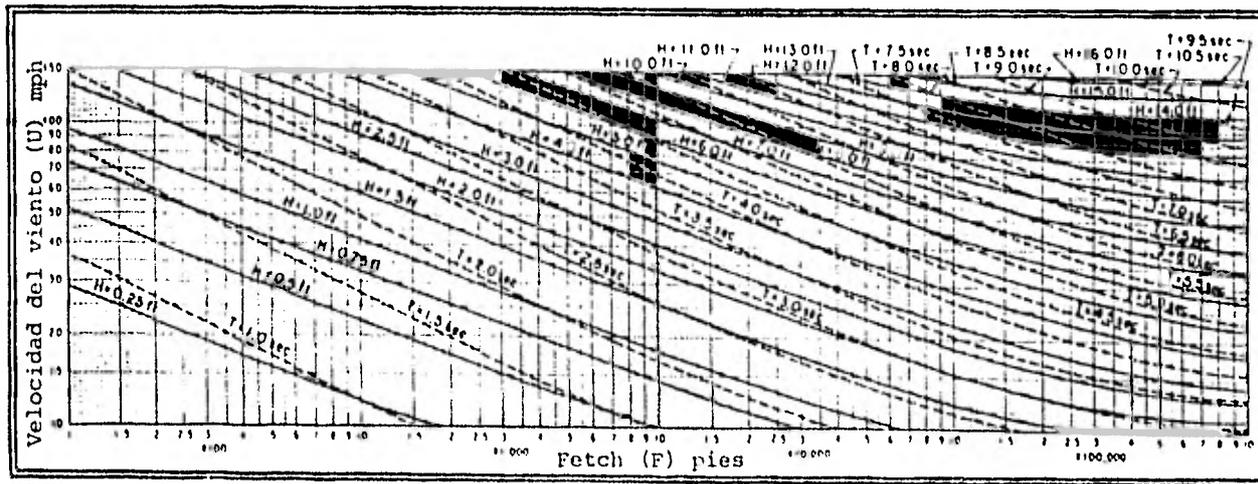


FIGURA III-24 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante= 45 pies

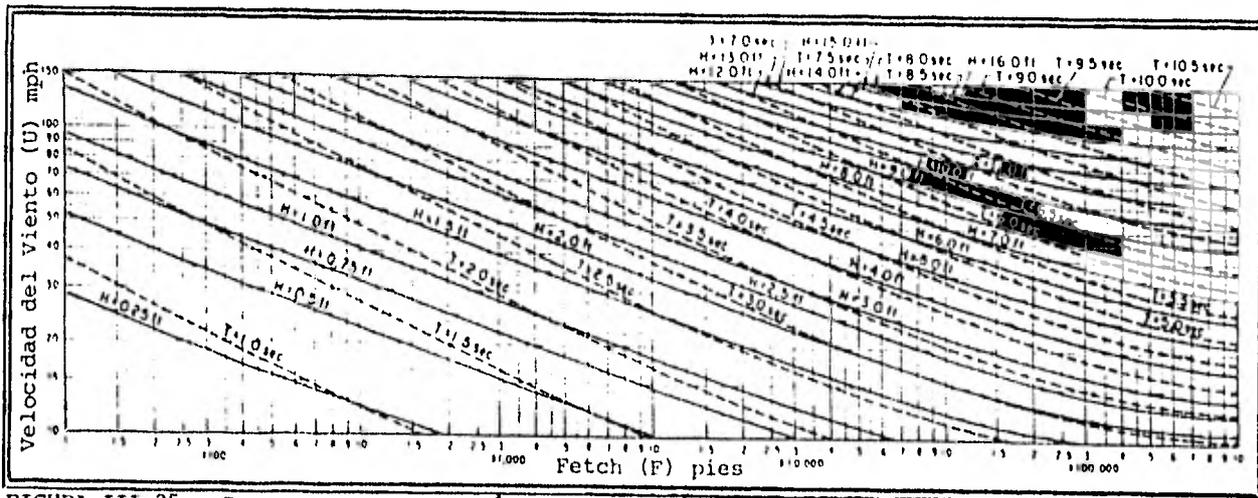


FIGURA III-25 Curvas para predicción del oleaje en aguas reducidas. Prof.constante= 50 pies

las que se considera el tirante constante. Estas curvas están determinadas por las ecuaciones

$$\frac{gH}{U^2} = 0.283 \tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U^2} \right)^{0.75} \right] \tanh \left\{ \frac{0.0125 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.42}}{\tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \quad (3-7)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.20 \tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U^2} \right)^{0.375} \right] \tanh \left\{ \frac{0.077 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.25}}{\tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U^2} \right)^{0.375} \right]} \right\} \quad (3-8)$$

en las que se ha introducido la profundidad (d).

### III.6 ESPECTRO DEL OLAJE

La función espectral, también llamada *espectro del oleaje*, es básica para el estudio del oleaje a corto término, pues permite una descripción estadística del mismo.

#### III.6.1 ANALISIS ESPECTRAL

Pierson, Newman y James (1955), hicieron una presentación de la función espectral muy simple e intuitiva pa

ra introducir la función espectral de una manera exclusivamente descriptiva.

Suponiendo que la superficie aleatoria del mar puede representarse como la superposición de ondas monocromáticas con diferentes direcciones, períodos y fases aleatorias, cada uno de los componentes vendrá representado por una onda de Airy, pues es la única solución que admite el principio de superposición lineal. Agrupando -- las componentes con relación a las frecuencias medias  $f$ , distribuídas uniformemente en  $f_i \pm \Delta f_i$  en donde

$$f = \frac{1}{T} \quad (3-9)$$

se obtiene así un número discreto de ondas que dan lugar a una distribución escalonada de un número finito de componentes, que aproxima en forma finita la distribución infinita de componentes. Finalmente, asociando a cada rectángulo de lado  $\Delta f$  una ordenada que da lugar a una área proporcional,  $[H(f_i)]^2$ , siendo  $H(f)$  la altura de onda de la componente de frecuencia media  $f$ , se obtiene una aproximación escalonada de la función  $H^2(f)$ , que cuando  $\Delta f \rightarrow 0$  tiende a una curva continua entre  $f=0, \infty$  que representa la función espectral del oleaje.

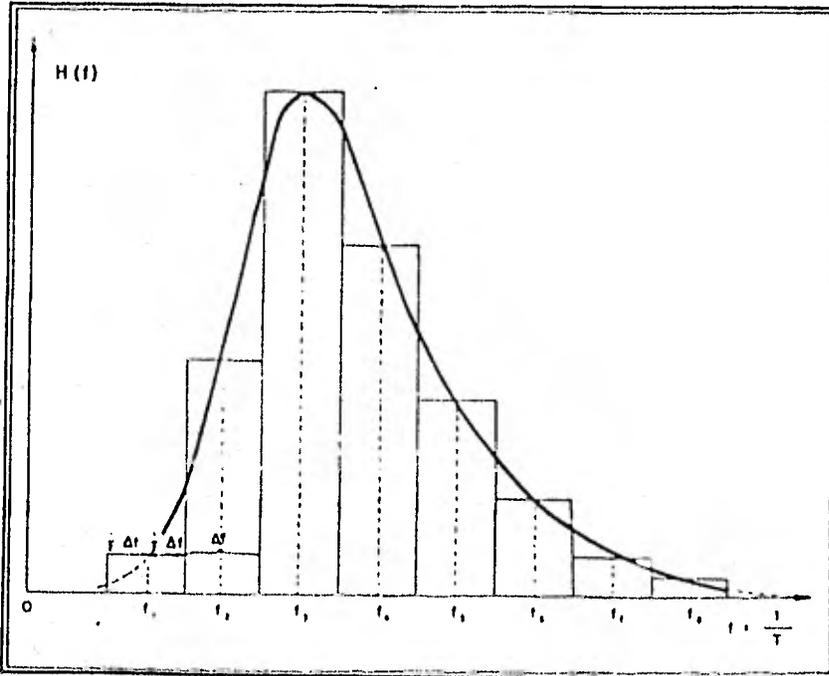


FIGURA III-26 Espectro de energía del oleaje.

Como la energía es proporcional a  $H^2$ , el área encerrada por la función  $H^2(f)$  es proporcional a la energía, por lo que al espectro del oleaje se le denomina algunas veces *espectro de energía*, que generalmente se designa -- por  $S(f)$ .

Las relaciones fundamentales que ligan el espectro de energía y la altura de ola significante son las siguien

tes:

$$E = 2 \int_0^{\infty} S(f) df \quad (3-10)$$

$$H_r = 2\sqrt{E} \quad (3-11)$$

Si sustituimos este valor en la expresión de  $H_{1/n}$  para el caso particular de  $n=3$  se tiene:

$$H_{1/3} = 2.832\sqrt{E} \quad (3-12)$$

que es la expresión más utilizada en el cálculo de la predicción del oleaje.

$S(f)$  y  $H_{1/3}$  serán funciones que, en general, dependerán de la velocidad del viento ( $U$ ), del área de generación del oleaje (fetch), de la duración ( $t$ ) de la profundidad ( $d$ ) y, por moverse dentro de un campo gravitatorio, de la aceleración de la gravedad ( $g$ ).

### III-6.2 ESPECTRO REFRACTADO

En la teoría clásica de las ondas, el problema de la refracción del oleaje era muy sencillo. Definidos la longitud y período del mismo, se podía hallar el coeficiente que modificaría la altura de ola,  $K_r$ , mediante méto-

dos gráficos o teóricos convencionales.

En el caso del oleaje real, al tener en el mismo tren - distintos períodos, el problema es mucho más complicado. Sin embargo, para comprender la fenomenología se puede simplificar al máximo el problema, perdiendo por supuesto rigor en las soluciones, ya que el proceso real es - mucho más complejo.

Definido el espectro de energía para una dirección dada, por ejemplo NE, en profundidades indefinidas se puede dividir el espectro en número finito de partes, por ejemplo 8. En cada una de las bandas se toma el período constante, es decir, se sustituye la línea del espectro por una línea quebrada escalonada.

Recordando que (ecuación 3-12)

$$H_{1/3} = 2.832\sqrt{E}$$

$$E = \frac{H_{1/3}^2}{(2.832)^2} \quad (3-13)$$

el coeficiente de reducción de energía será

$$K_E = K_r^2 \quad (3-14)$$

Una de las bandas de energía, llamada en general  $\Delta E$ , - se reducirá a  $K_E \Delta E$ .

La energía total será

$$E^* = \sum_{i=1}^n \Delta E_i K_{E_i} \quad (3-15)$$

De ésta energía  $E^*$ , ya reducida por la refracción, la altura correspondiente  $H_{1/3}^*$  se encuentra mediante la expresión

$$H_{1/3}^* = 2.832 \sqrt{E^*} \quad (3-16)$$

### III.6.3 FORMA DEL ESPECTRO

Desde el año 1952 en que Neuman propuso el primer espectro de oleaje, obtenido a partir de datos visuales, hasta nuestros días, los modelos de espectros que se propusieron han sido muy numerosos. Desde su publicación en 1964 el espectro PMK-Pierson, Moskowitz, Kitargorodskii - ha sido el de mayor aplicación, pero actualmente y -- desde su aparición en 1973 ha sido sustituido por el espectro JONSWAP que lo incluye como caso particular.

El espectro JONSWAP, designado por J, fue formulado co-

mo un medio de análisis de los datos de la campaña que lleva este nombre, encaminada fundamentalmente al estudio de problemas de generación de oleaje. Aunque su formulación no tenía como objeto proponer un espectro estándar para uso general, la realidad es que desde su aplicación, su aceptación ha sido muy grande.

Su formulación incluye cinco parámetros y se hace en función de  $f = 1/T$ , siendo su expresión general la siguiente:

$$S_J(f) = \alpha \cdot g^2 \cdot (2\pi)^{-4} \cdot f^{-5} \cdot e^{\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right]} \cdot e^{\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]} \quad (3-17)$$

con  $\sigma = \sigma_a = \text{constante para } f < f_m$   
 $\sigma = \sigma_b = \text{constante para } f > f_m$   
 $f_m = \text{frecuencia del máximo del espectro.}$

Originalmente la expresión se formuló en función del espectro PMK en la forma:

$$S_J(f) = S_{PMK} \cdot e^{\left[-\frac{(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]} \quad (3-18)$$

En la expresión general, el espectro PMK corresponde a:  $\nu=1$ ,  $\alpha=0.081$ , viniendo dada la definición de los parámetros por el esquema de la figura III-28

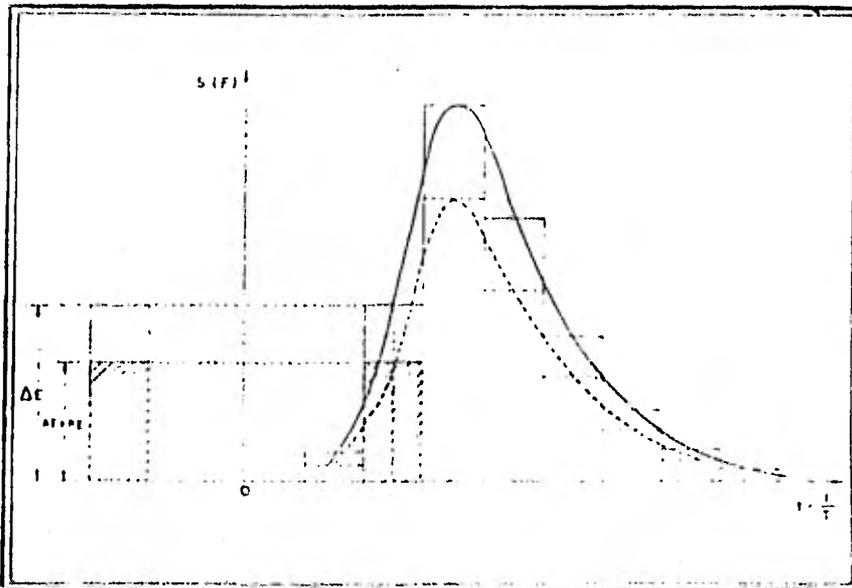


FIGURA III-27 Espectro refractado

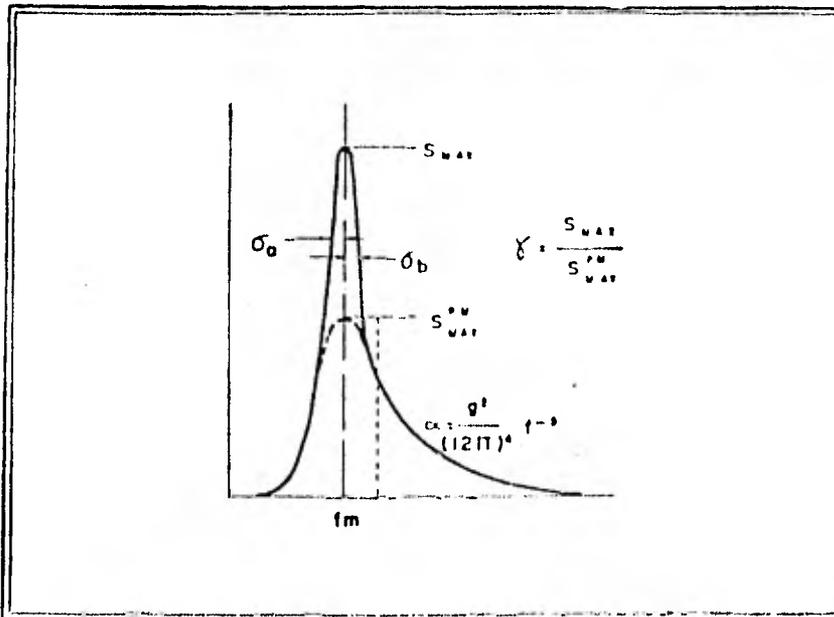


FIGURA III-28 Definición de los parámetros del espectro -- JONSWAP

Se han obtenido las siguientes relaciones para  $\alpha$  y  $f_m$ :

$$\alpha = 0.076 \bar{X}^{-0.22} \tag{3-19}$$

$$f_m = 3.5 \bar{X}^{-0.33} \tag{3-20}$$

en donde, 
$$\bar{X} = g \frac{x}{U_{10}^2} \tag{3-21}$$

$$\bar{I}_m = \frac{U_{10}}{x} \tag{3-22}$$

En estas fórmulas  $x$  es el fetch y  $U_{10}$  la velocidad del viento a una altura de 10 m sobre la superficie media del mar.

Los parámetros de forma, presentan una gran dispersión y ninguna tendencia significativa con relación a  $\bar{X}$ , siendo los valores medios los siguientes:

$$\bar{v} = 3.3 \tag{3-23}$$

$$\bar{\sigma}_a = 0.07 \tag{3-24}$$

$$\bar{\sigma}_b = 0.09 \tag{3-25}$$

Si se recuerda que  $E(f) = 2 \int_f^{\infty} S(f) df$ , ecuación (3-10), podemos conocer la variación de la energía en función de la frecuencia  $f$  para cada velocidad de viento.

Para facilidad de cálculo, existen ábacos gráficos tales como el de la figura III-29 para el espectro PMK.

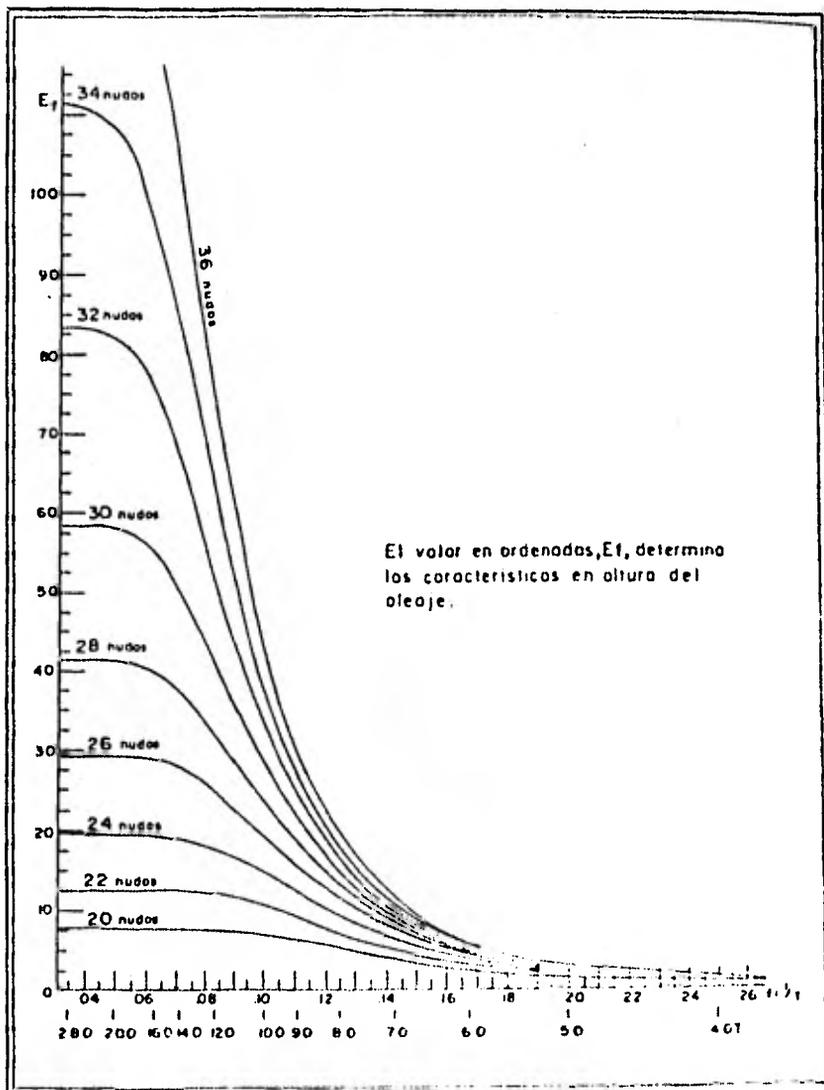


FIGURA III-29 Espectro acumulativo de energía (P.M.K.) de olas oceánicas para velocidades de viento con prendidas entre 20 y 36 nudos.

En conclusión, se ve que si se conoce la forma del espectro del oleaje real que se desea adoptar en un estudio o proyecto, o del oleaje que se quiere introducir en los generadores de oleaje para el ensayo de un modelo reducido, el problema se resuelve conociendo  $S(f)$  ya que de éste se derivan  $E(f)$  y  $H_{1/3}$ .

Si se tienen medidas en el sitio durante un período suficientemente largo, o por medio de métodos de predicción, se podría definir un espectro característico del lugar, que naturalmente no será el PMK, sino uno de los múltiples comprendidos en el espectro JONSWAP, más o menos ancho, achatado, etc. El problema, por tanto, es analizar los registros y determinar por un experto cuál es el espectro a adoptar.

La energía total, es decir toda el área, se encuentra -- particularizando el valor del espectro PMK para  $f=0$ .

$$E_{total} = E(0) = \frac{5.486}{10^3 \cdot g^2} U^2 \quad (3-26)$$

#### III.6.4 CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRO

Debido a que el oleaje real no tiene todas las componen

tes correspondientes a los distintos períodos, y aunque desde un punto de vista teórico, todos los períodos  $T$  (o frecuencias  $f$ ), de cero a infinito, deben encontrarse en el oleaje totalmente desarrollado, Newman recomienda acotar el espectro entre dos frecuencias:  $f_i$  (frecuencia inferior) y  $f_s$  (frecuencia superior), que definen el intervalo característico, eliminando así la energía comprendida en el intervalo  $(0, f_i)$ , que será del orden de 5% de la  $E_{total}$ , y la energía comprendida entre  $(f_s, \infty)$ , 3% de la  $E_{total}$ .

$$E(f_i) = 0.95 E_{total} \quad (3-27)$$

$$E(f_s) = 0.03 E_{total} \quad (3-28)$$

Se ha encontrado que

$$f_i = \frac{0.705g}{U} \quad (3-29)$$

$$f_s = \frac{2.22g}{U} \quad (3-30)$$

y por otra parte

$$f_{optimo} = \frac{0.877g}{U_{10}} \quad (3-31)$$

El espectro de energía se construye por intervalos mediante los rectángulos correspondientes de incrementos

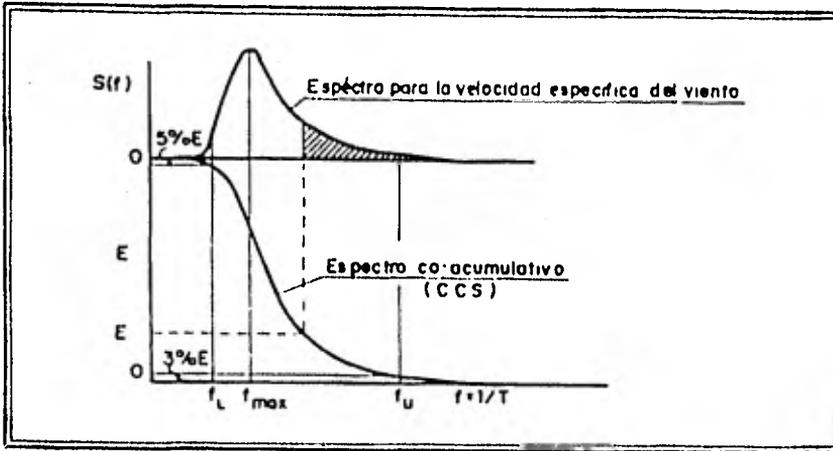


FIGURA III-30 Espectro co-acumulativo

de energía (fig. III-31), haciendo uso de los ábacos -- que nos den el valor de  $F$  en función  $f$  para cada valor de  $U$ .

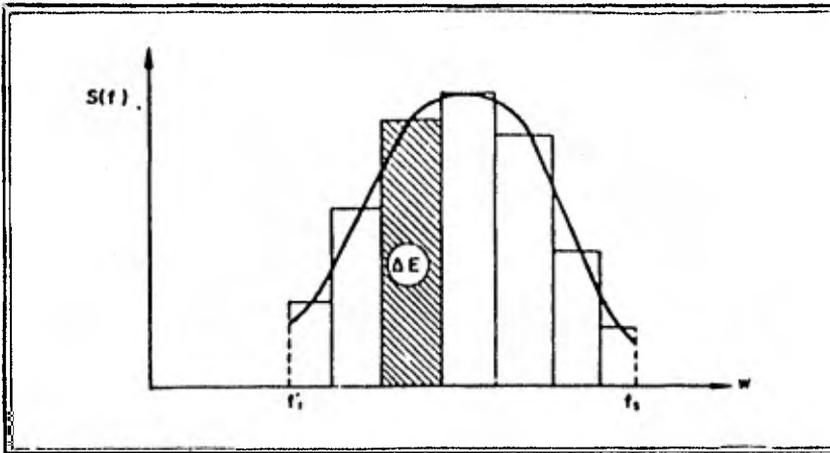


FIGURA III-31 Descomposición en bandas de frecuencia.

Para el caso del oleaje parcialmente desarrollado, es decir, cuando el fetch o la duración son menores que los mínimos, le corresponderá un espectro de frecuencias a partir de una  $f_1$  determinada. Se supone que las ondas componentes de este espectro están saturadas, es decir, que corresponderá a las bandas de frecuencia la misma energía que si el oleaje estuviera totalmente saturado. Para saber el valor de  $f_1$ , a partir del cual se desarrolla el espectro, tendremos que, conocido el valor de  $H_{1/3}$ , mediante el método SMB, como (ecuación 3-12)

$$H_{1/3} = 2.832 \sqrt{E},$$

se conoce el valor de  $E$ . Entrando en los ábacos se encuentra que frecuencia  $f_1$  le corresponde.

Para el dibujo del espectro de energía, en el caso de oleaje parcialmente desarrollado, se quita igualmente el 3% de la energía para las frecuencias superiores y se ajusta la parte de frecuencias inferiores de la forma siguiente:

$$(A) \quad S_1 \quad f_1 > f_{\text{óptimo}}$$

$$f_1 = 0.85 f_1$$

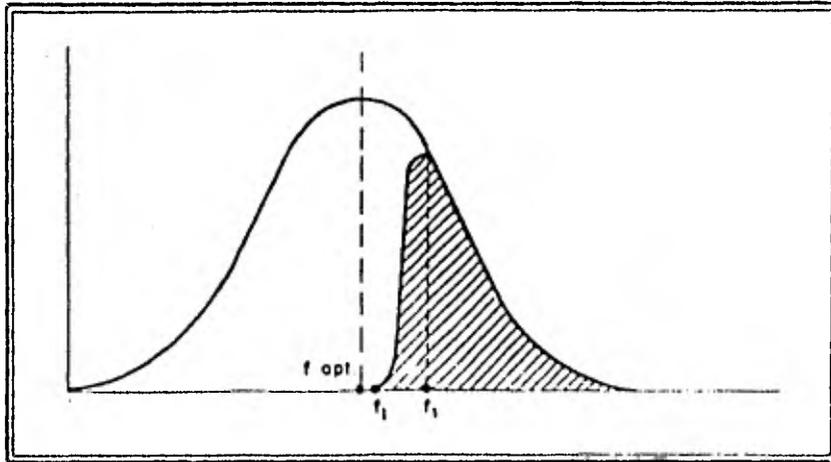


FIGURA III-32 Espectro parcialmente desarrollado - caso (A)

(B)  $S_1$   $f_1 < f_{optimo}$

$$f_1 = f_1$$

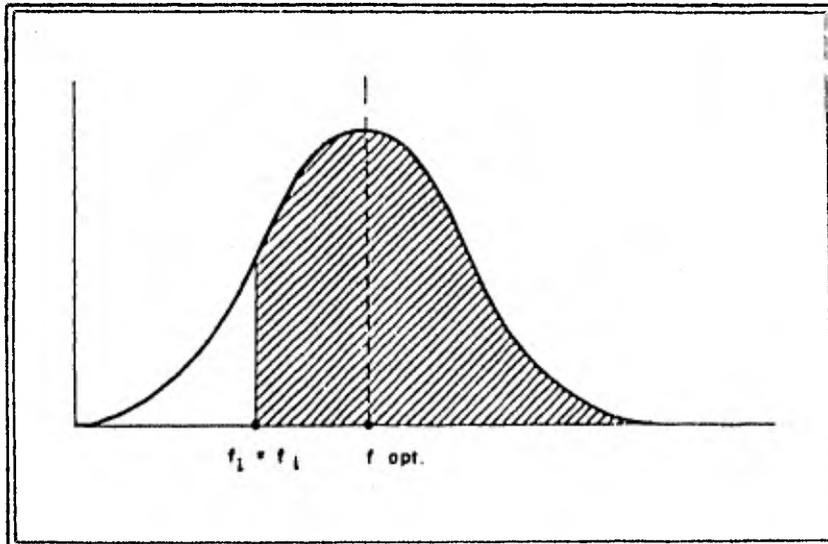


FIGURA III-33 Espectro parcialmente desarrollado - caso (B)

### III-7 OLEAJE CICLÓNICO

Al presentarse un aumento de temperatura en grandes ma -  
sas de aire sobre el mar, se elevarán éstas debido a la\_  
disminución de su densidad, precipitándose el aire que -  
las circunda para ocupar el hueco dejado por ellas. Por\_  
la fuerza de Coriolis, el sistema girará, equilibrándose  
la fuerza centrífuga con la producida por la presión del  
aire que trata de introducirse al centro. Por lo ante - -  
rior, resultará una formación cilíndrica, conocida como  
*ciclón*, cuyas paredes se han endurecido e impiden la en  
trada de aire. Al centro del sistema se le denomina *ojo*  
*del ciclón*, cuyo diámetro mide de 3 a 30 kilómetros, en  
el que se presenta calma absoluta.

Los *huracanes* son ciclones tropicales, en los cuales - -  
los vientos superan velocidades de 120 Km/hr, origina -  
dos en el Océano Atlántico Norte Subtropical, entre A -  
frica y las Antillas y en la Costa Occidental de México.

Los ciclones son llamados *tifones* en el Pacífico Norte\_  
y Occidental, y en México en el Mar de China. En las Fi  
lipinas se les conoce como *baguios* y en el Océano Indi -  
co, Bahía de Bengala y Mar Arábigo como *ciclones tropi-*

cales. En Australia se les denomina *Willy-Willy*.

Cuando se predice el oleaje ocasionado por ciclones, la determinación del fetch y la duración de la acción del viento se dificulta mucho más que para las condiciones normales anteriormente expuestas debido a los grandes cambios que ocurren en la velocidad y dirección del viento, para un punto dado.

Por tener los huracanes áreas de fetch, con velocidad y dirección de viento casi constantes muy cortos, no se alcanza el estado de mar completamente desarrollado.

Se han propuesto muchos modelos matemáticos para su estudio, pero no existen suficientes datos para todos los posibles propósitos de aplicación.

Para un huracán que se traslada lentamente, considerando un desplazamiento a velocidades iguales o menores a los 50 Km/hr, las siguientes fórmulas pueden ser usadas para obtener una estimación de la altura y período significantes del oleaje en aguas profundas, en el punto de máxima velocidad del viento.

$$H_0 = 16.5 e^{\frac{R\Delta p}{100}} \left[ 1 + \frac{0.208\alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (3-32)$$

$$T_s = 8.6 e^{\frac{R\Delta p}{200}} \left[ 1 + \frac{0.104\alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (3-33)$$

Donde

$H_0$  = Altura de ola significante en aguas profundas, en pies.

$T_s$  = Período correspondiente a la ola significativa, en segundos.

$R$  = Radio de los vientos máximos, en millas náuticas.

$$R = 15.40 \tanh [0.0873(\phi - 28^\circ)] + 6.60 e^{-\Delta p} + 0.02V_F + 20.10 \quad (3-34)$$

En donde

$\phi$  = Latitud del huracán, en grados.

$\Delta p$  =  $P_n - P_o$ , donde  $P_n$  es la presión normal de 29.92 pulgadas de mercurio, y  $P_o$  es la presión en el centro del huracán, también en pulgadas de mercurio.

$V_F$  = Velocidad de translación del huracán, en nudos.

$U_R$  = Velocidad máxima sostenida del viento, en nudos, calculada para 30 pies sobre -

la superficie media del mar, en el radio  $R$ , donde

$$U_R = 0.865 U_{\max} \text{ (para huracanes estacionarios).} \quad (3-35)$$

$$U_R = 0.865 U_{\max} + 0.5 V_F \text{ (para huracanes en movimiento).} \quad (3-36)$$

$U_{\max}$  = Velocidad máxima del viento de gradiente, en nudos, a 30 pies sobre la superficie media del mar.

$$U_{\max} = 0.868 \left[ 73(P_n - P_o)^{1/2} - R(0.575f) \right] \quad (3-37)$$

$f$  = Parámetro de Coriolis =  $2\omega \sin \phi$ , donde  
 $\omega$  = velocidad angular de la Tierra =  $2\pi / 24$  radianes por hora.

Latitud ( $\phi$ )	15°	20°	25°	30°
$f$ (rad/hr)	0.1355	0.1791	0.2213	0.2618

$\alpha$  = Coeficiente que depende de la velocidad de traslación del huracán y del incremento de la longitud efectiva del fetch, debido a que el huracán se encuentra en movimiento. Para huracanes que se mueven lentamente, se sugiere  $\alpha = 1.0$ .

Una vez determinado  $H_o$  para el punto de viento máximo, \_

de la ecuación (3-32), es posible obtener la altura significativa aproximada del oleaje en aguas profundas,  $H_0$ , para otras áreas de el huracán, usando la fig. III-34.

El período en segundos, correspondiente a la ola puede calcularse aproximadamente de

$$T = 2.132\sqrt{H_0} \quad (3-38)$$

Donde  $H_0$  está en pies (derivada de datos empíricos que muestran que la esbeltéz de la ola  $H/T^2$  será de 0.22).

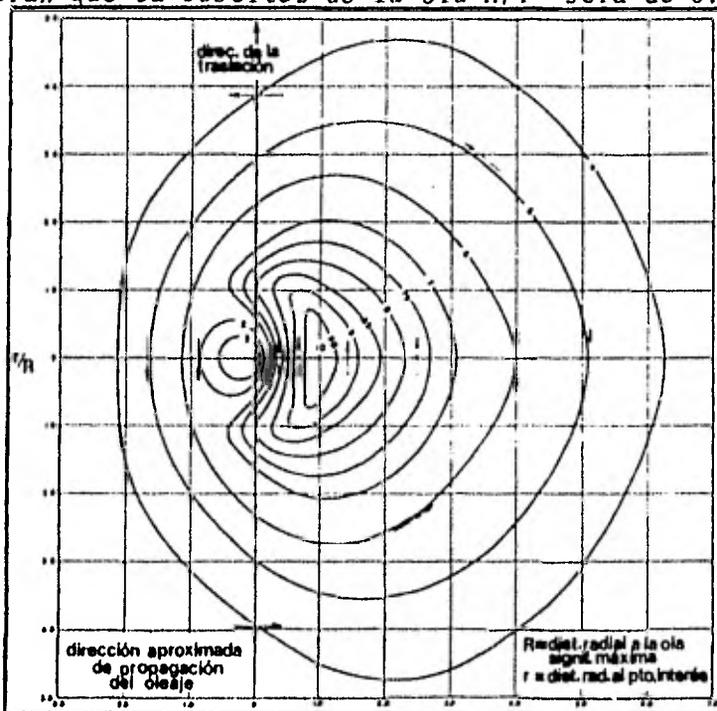


FIGURA III-34 Isolíneas de la relativa altura de la ola significativa para un huracán que se traslada lentamente.

El fetch efectivo puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$F_e = (H_0 / 0.0555 U_R)^2 \quad (3-39)$$

### III.8 ALTURA DE ROMPIMIENTO

Cuando se diseña para condiciones de rompimiento de las olas (por ejemplo en el diseño de obras exteriores), es deseable determinar la *altura máxima de rompimiento* a la cual estará sujeta la estructura en términos razonables.

La altura de rompimiento de diseño,  $H_b$ , depende de la profundidad por la que transitará hasta llegar cerca de la estructura y comenzar a romper. Esta profundidad varía con el estado en que se encuentra la marea. Por lo anterior, la altura de rompimiento de diseño dependerá entonces de la profundidad del agua al pie de la estructura en condiciones críticas (con máxima pleamar), la pendiente en la cual esté construída, el período mayor de oleaje que se pueda presentar, y la distancia de viaje de la ola una vez comenzado el rompimiento.

La altura de rompimiento de diseño puede ser determinada por:

$$H_b = \frac{ds}{\beta - m\tau_p} \quad (3-40)$$

Donde  $ds$  es el tirante al pie de la estructura;  $\beta$  es la relación entre profundidad y altura de rompimiento  $d_b/H_b$ ;  $m$  es la pendiente del fondo, y  $\tau_p$  es un factor adimensional de distancia  $\chi_p/H_b$  en el cual

$$\chi_p = (4.0 - 9.25 m)H_b \quad (3-41)$$

Si se conoce la profundidad máxima de diseño y el período incidente del oleaje, la altura de rompimiento de diseño se puede obtener de la fig. III-35.

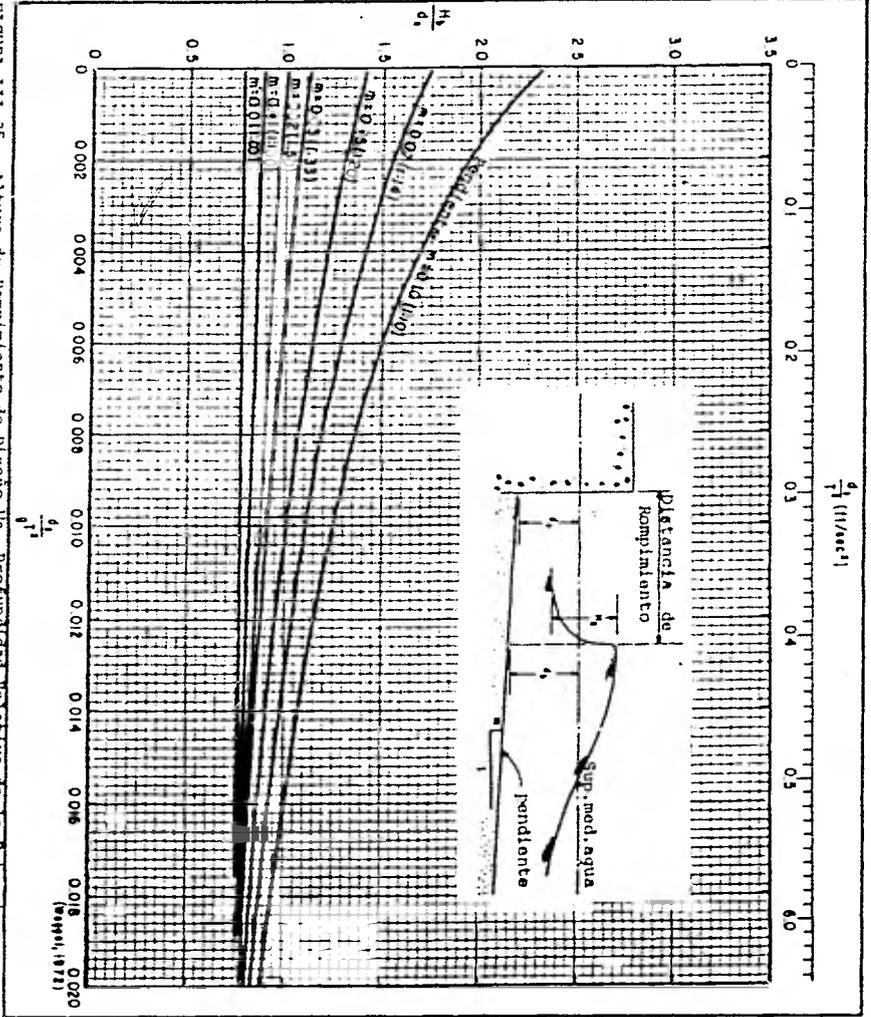


FIGURA III-35 Altura de Kimpimento de Diseño Vs. Profundidad Relativa de la Estructura.

**CAPITULO IV**

## INFORMACION ESTADISTICA DEL OLEAJE

Consideremos el simple caso de dos trenes de onda que -  
tengan la misma altura, pero de distinta longitud. Su in  
terferencia nos produce grupos de ondas con zonas en don  
de las alturas, en algunas partes, casi se duplican, --  
mientras que en otras regiones casi desaparecen.

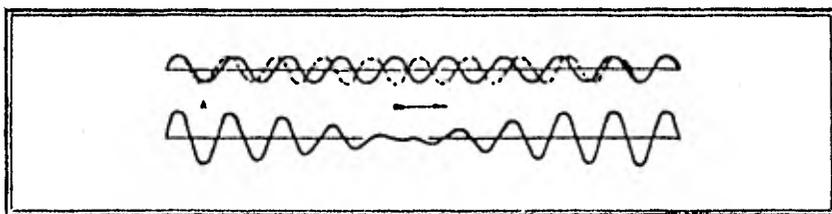


FIGURA IV-1 Superposición de dos trenes de ondas.

Estas interferencias de ondas dan lugar a fenómenos más --  
complejos que el de un grupo de ondas de idénticas ca -  
racterísticas. Pero, aún así, los fenómenos derivados -  
de la interferencia de ondas tienen un carácter períodi  
co y por lo tanto se pueden representar matemáticamente,  
con lo cual se puede predecir lo que va a ocurrir en un  
instante determinado. Sin embargo, el fenómeno del oleae  
je real es aún más complejo y no admite ecuaciones que\_  
representen en el tiempo sus variaciones, dado su caráco

ter básico de aleatoriedad, que únicamente hace posible un tratamiento estadístico del mismo.

#### IV.1 OLEAJE REAL

Partamos de un registro de oleaje tal como los de la figura IV-2.a. La irregularidad de este registro contrasta con la regularidad del de una onda senoidal pura, -- tal como el de la fig. IV-2.b

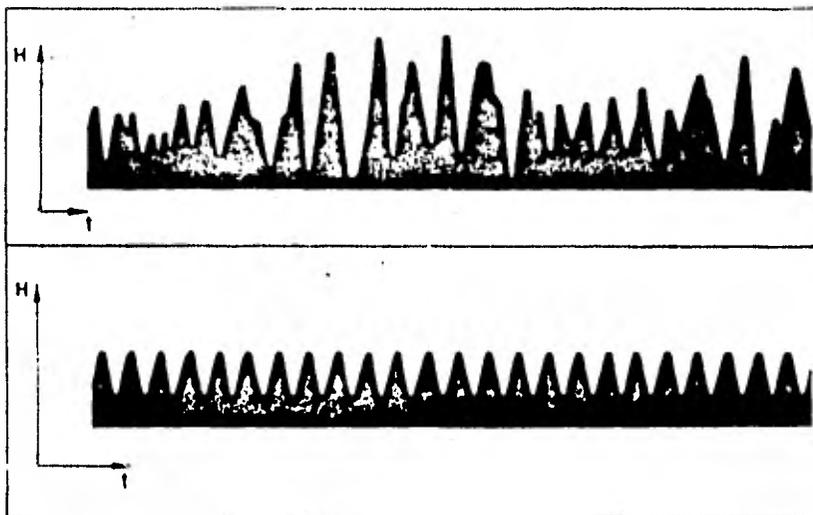


FIGURA IV-2.a) Registro del oleaje real; b) Registro de ondas monocromáticas.

En estos dos tipos de registros se observa la diferencia entre los dos fenómenos, el carácter aleatorio del

primero y el determinista del segundo, conocido este tipo como *monocromático*, pues en éste se puede definir una ley causal a partir de la cual se podría tener un registro indefinido.

Está claro que se puede hacer un análisis estadístico directo de uno o de varios registros, pero la necesidad de conocer la estructura y la generación del oleaje y su posterior manejo, exige la construcción de modelos matemático-estadísticos y físicos que han de ser comprobados con los resultados de medidas en la naturaleza y en el laboratorio.

#### IV.2 DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA

En la construcción de estos modelos, en donde la teoría de las ondas se aplica al estudio del oleaje, se parte del siguiente modelo descriptivo del mismo: el oleaje es la resultante de la intersección de trenes de ondas con diferente dirección y fases aleatorias. Hay que hacer notar que la aplicación de estos modelos se hace en oleajes que son respuesta exclusiva a la acción de un viento turbulento, sin influencia de ninguna otra varia

ble, profundidad, fricción de fondo, etc.

La descripción de la estructura estadística de un registro de oleaje se hace a partir de parámetros que reflejan la importancia del oleaje registrado.

### IV.3 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Existen varios parámetros convencionales significativos, tales como la media, moda, etc., pero para analizar los registros del oleaje ha dado buenos resultados hacerlo en forma monocromática con una *altura y período significantes*. Munk (1944) definió la altura de ola significativa como la altura promedio del tercio mayor de un grupo de olas. Para calcularla se divide el conjunto de olas registradas en tres grupos, de igual número de olas, según su altura y la altura promedio del grupo de olas más altas constituye dicha altura de ola significativa, representada por  $H_{1/3}$  ó simplemente  $H_s$ .

El período de ola significativa se obtiene generalmente de observaciones visuales de olas y resulta ser el período promedio de 10 a 15 olas prominentes sucesivas. Cuando se determina de registros del oleaje, el período

significante es una estimación subjetiva, y se calcula al obtener el período promedio de todas las olas con valles que están por abajo del nivel medio y crestas por encima de dicho nivel medio.

Al respecto, hay distribuciones que han considerado la forma y variación de oleajes y que relacionan los valores estadísticos. Tal es el caso de la *distribución de densidad de Rayleigh*

$$P(H) = \frac{2H}{H_r^2} e^{-(H/H_r)^2} \quad (4-1)$$

en donde  $P(H)$  es el número  $n$  de olas mayores de la altura  $H$ , dividido entre el número total de olas  $N$  en el registro, y  $H_r$  es un parámetro de la distribución, llamado *altura media cuadrática*, definida por

$$H_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N H_j^2} \quad (4-2)$$

La representación gráfica de la distribución de Rayleigh se muestra en la figura IV-3

De lo anterior, es factible deducir la probabilidad "q"

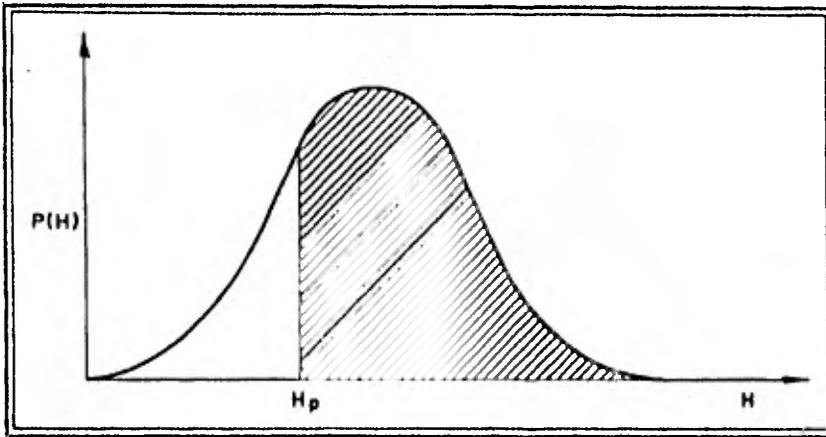


FIGURA IV-3 Función de densidad (Distribución de Rayleigh)

de que una altura de ola exceda un cierto valor  $H$ , que sería el área sombreada bajo la curva

$$q = \int_H^{\infty} P(H) dH \quad (4-3)$$

resultando

$$q = e^{-(H/H_r)^2} \quad (4-4)$$

Por otra parte, la altura media de probabilidad de ocurrencia  $n$ ,  $H_{1/n}$  será, según la estadística

$$H_{1/n} = \frac{\int_0^{\infty} P(H) H dH}{\int_0^{\infty} P(H) dH} \quad (4-5)$$

de lo anterior

$$\frac{H_{1/n}}{H_r} = (Ln)^{1/2} + \frac{n\sqrt{\pi}}{2} [1 - \phi(Ln)]^{1/2} \quad (4-6)$$

siendo  $\phi(Ln)^{1/2} = \text{erf}(x)$  la función error, y dada en la Tabla 4-1.

de lo anterior

$$\bar{H} = 0.886 H_r \quad (4-7)$$

$$H_{1/3} = 1.416 H_r \quad (4-8)$$

Con la figura IV-4.a es posible encontrar la altura de ola con cualquier probabilidad dada  $n/N$  de ser excedida, o por medio de la siguiente ecuación

$$\frac{H}{H_r} = [-L(n/N)]^{1/2} \quad (4-9)$$

Por otra parte, se puede conocer la altura promedio de todas las olas de la  $n$  parte del total de olas, que contiene a las olas mayores, ecuación (4-6), con la fig. IV-4.b

La probabilidad "q" puede expresarse como:

$$q = \frac{n}{N} \quad (4-10)$$

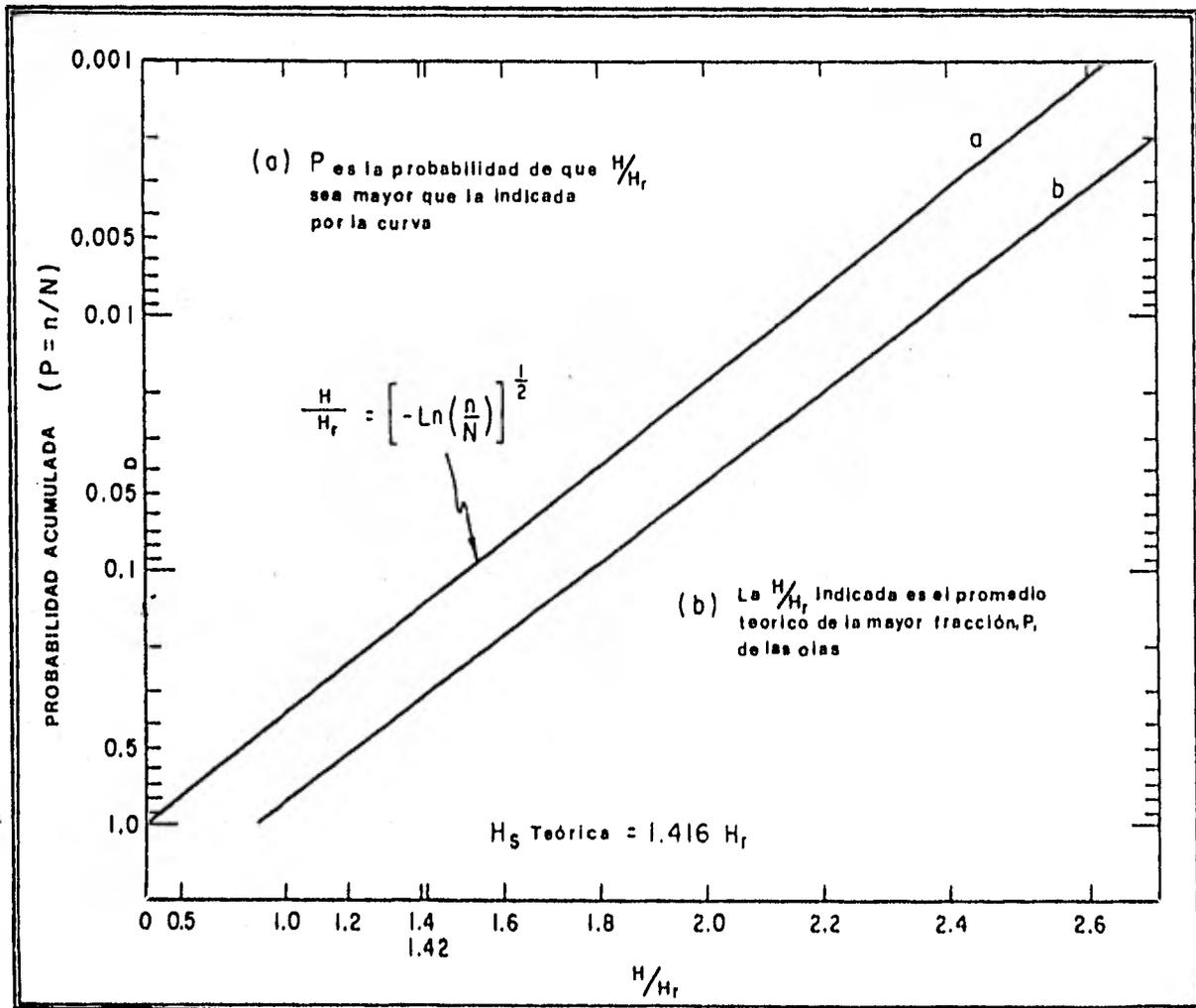


Fig.IV-4. Distribuciones teóricas de la altura de ola

Tabla 4-1. Función Error, erf(x), para incrementos de x de 0.1

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	x
0	0.0000	0.1125	0.2227	0.3286	0.4284	0.5205	0.6039	0.6778	0.7421	0.7980	0
1	0.8127	0.8802	0.9103	0.9340	0.9523	0.9661	0.9761	0.9838	0.9891	0.9928	1
2	0.9953	0.9970	0.9981	0.9989	0.9993	0.9996	0.9998	0.9999	0.9999	1.0000	2

por lo que la *ola máxima* se presentará para  $n=1$ , lo que al sustituir en la ecuación (4-9) resulta:

$$\begin{aligned} H_{\max} &= H_r \left( -L \frac{n}{N} \right)^{1/2} \\ &= H_r \left( L \frac{N}{n} \right)^{1/2} \\ H_{\max} &= H_r (LN)^{1/2} \end{aligned} \quad (4-11)$$

Con la anterior ecuación, se puede conocer la  $H_{\max}$  a partir de  $H_r$  y  $N$ , calculando  $N$  como

$$N = \frac{D}{T_s} \quad (4-12)$$

siendo  $D$  el lapso en que se desea conocer  $H_{\max}$  y  $T_s$  el período significativo.

Para determinar la descripción estadística de fenómenos del oleaje en profundidades reducidas, es necesario contemplarlo desde el punto de vista de la energía del oleaje, como se vió en el capítulo anterior.

#### IV.4 REGÍMENES DE OLAJE

En la determinación de las características del oleaje y su formación, el oleaje puede ser dividido en dos cla -

ses; el correspondiente al *régimen de oleaje normal* y el que se refiere al *oleaje extraordinario o ciclónico*.

Casos típicos de estudios en los que se requieran estos tipos de oleaje son la determinación del transporte litoral, en el cual se necesitan primordialmente las características del oleaje normal, y el proyecto de las obras exteriores de un puerto, las que necesitan un conocimiento del oleaje extraordinario, ya que superada una cierta altura, dichas obras podrían dañarse.

La predicción del oleaje extraordinario ha sido descrita en el capítulo anterior.

#### IV.5 RÉGIMEN DE OLEAJE NORMAL

Con relación al régimen de oleaje normal, se busca la ley que nos defina el porcentaje de tiempo que la altura de ola excede un cierto valor.

Para contar con datos representativos es necesario disponer de observaciones puntuales en el lugar de interés.

La posibilidad de que el régimen de oleaje sea direccio

nal y no meramente escalar, depende de que el método de registro sea capaz de discriminar direcciones.

La fiabilidad de los análisis de los distintos tipos de información estadística depende de la amplitud de la muestra, es decir el número de observaciones realizadas.

#### IV.5.1 ATLAS SEA AND SWELL

En caso de no existir información del punto exacto y -- que se realice en forma directa, es posible recurrir a fuentes como el "Atlas of Sea and Swell", publicado por la U.S. Naval Oceanographic Office, el cual presenta -- las estadísticas de observaciones realizadas por buques de líneas regulares y pertenecientes a la marina en diferentes zonas perfectamente localizadas.

Esta fuente hace una distinción entre oleaje local - -- (Sea) y oleaje distante (Swell), presentando el resumen de observaciones por meses y por zonas, y dentro de cada una por una rosa de oleaje. Cada rosa consta de ocho direcciones, señalando para cada una de ellas la distribución de alturas observadas, correspondientes a cada -

mes.

Los rangos de altura en que subdividen el oleaje son los siguientes:

Tipo de oleaje	<u>Rango en pies</u>			
	bajo	medio	alto	calmas
Oleaje local	1' a 3'	3' a 8'	> 8'	< 1'
Oleaje distante	1' a 6'	6' a 12'	>12'	< 1'

Así mismo, se designa a cada intervalo un porcentaje -- que indica el tiempo para cada mes en el cual se presenta el oleaje cuya altura significativa está incluida en el intervalo y cuya dirección es la representada por la flecha correspondiente.

#### IV.5.2 OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Existen otras fuentes como el "Ocean Waves Statistics", la cual es una publicación inglesa que reporta al igual que la anterior, datos de observaciones visuales del estado del mar en todos los oceanos del mundo pero,

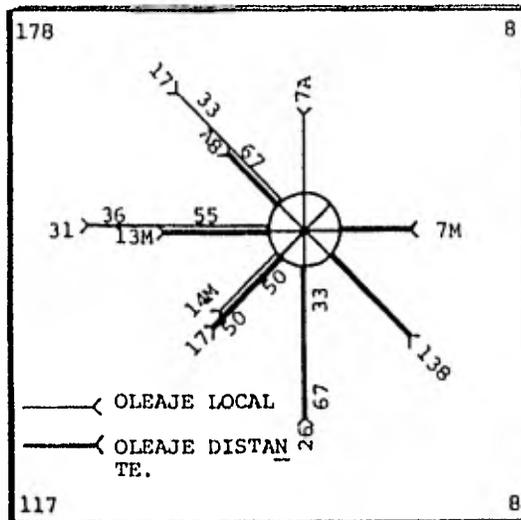


FIGURA IV-5 Ejemplo de datos de las cartas "Sea and Swell".

a diferencia del Sea and Swell, no hace distinción entre oleaje local y distante, pero reporta también períodos de oleaje.

En lo que respecta a la clasificación por dirección, se agrupan los oleajes en doce rangos:

DIRECCION REPORTADA	DIRECCION EQUIVALENTE
350° - 10°	N
20° - 40°	NE
50° - 70°	NE
80° - 100°	E

DIRECCION REPORTADA		DIRECCION EQUIVALENTE
110°	- 130°	SE
140°	- 160°	SE
170°	- 190°	S
200°	- 220°	SW
230°	- 250°	SW
260°	- 280°	W
290°	- 310°	NW
320°	- 340°	NW

Los rangos para períodos y alturas usados en esta publicación son los siguientes:

(seg) RANGO PARA PERIODOS	(m) RANGO PARA ALTURAS	
5	0.25	9.00
6-7	0.50	9.50
8-9	1.00	10.00
10-11	1.50	11.00
12-13	2.00	12.00
14-15	2.50	
16-17		
18-19		
20-21		18.00
>21	8.50	19.00

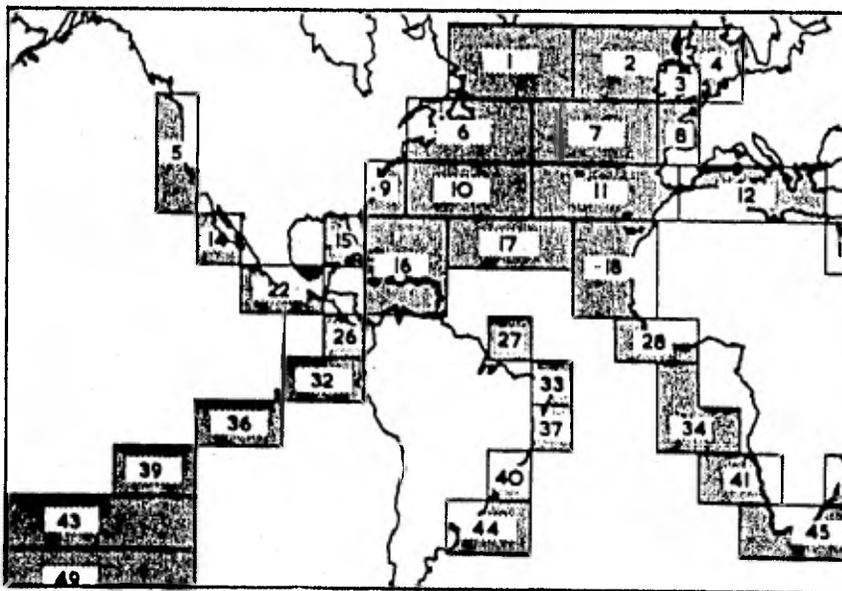


Fig. IV-6. Distribución de las Zonas de las cartas "Ocean Waves Statistics".

La información de ésta publicación tiene el inconveniente de que las áreas en las que se ha subdividido los océanos son muy amplias, llegando, en el caso de México, a abarcar una misma zona costas del Océano Pacífico y del Océano Atlántico, lo que a todas luces es inapropiado. Además, sólo reporta información estacional y anual, sin datos mensuales.

Existen también otras firmas que proporcionan datos del oleaje para una zona en particular, los cuales se entregan ya procesados o en cintas magnéticas.

#### IV.6 RÉGIMEN DE OLEAJE EXTRAORDINARIO

El régimen de oleaje extraordinario o ciclónico, es una función de distribución de los valores extremos de alturas de ola. Esta función extremal indica la probabilidad de que un valor considerado de altura de ola ligada a un temporal no sea superado en un período de tiempo determinado.

El interés que tiene el conocimiento de esta función es fundamental en el caso del diseño de obras, ya que con ella se puede valorar un parámetro que determine la altura de ola de diseño. La elección de un valor determinado del mismo irá ligado así a una probabilidad de presentación y, consecuentemente, a un riesgo conocido.

El cálculo práctico del régimen de oleaje extraordinario para un punto o zona de predicción se puede abordar de distintas formas, que dependen fundamentalmente del tipo y calidad de los datos de oleaje de que se disponga, clasificándose los métodos de cálculo en dos grupos:

- a) Utilización de una *distribución probabilística* conocida para el tratamiento de valores extremos anuales.
- b) Aplicación de la *ecuación extremal* a partir del régi-

men de oleaje normal y del número de extremos.

#### IV.6.1 DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA ANUAL

Este procedimiento puede alimentarse con los datos obtenidos a partir de métodos de predicción o de registros reales.

Como primer paso, se debe obtener en cada año la tormenta o ciclón que dará mayor energía, seleccionándose en la práctica entre los 3 ó 4 aparentemente mayores, repitiendo este proceso durante "n" años, con un mínimo de 20. De lo anterior, se obtendrán "N" valores de  $H_{1/3}$  máximos.

Se sabe que este tipo de fenómenos suelen seguir la ley de Gumbel, la cual considera que la distribución de probabilidad extrema se puede representar por la ecuación:

$$Y = \bar{Y} - \frac{\sigma_Y}{\sigma_n} (\bar{Y}_n - LTr) \quad (4-13)$$

siendo

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum Y_i^2 - N(\bar{Y})^2}{N}} \quad (4-14)$$

donde

N = Número de registros máximos anuales.

Tr = *Período de retorno*, considerado por Gumbel en --  
forma aproximada como

$$Tr = \frac{n}{P} \quad (4-15)$$

n = Número de años de vida útil de la obra.

P = Probabilidad de que ocurra una avenida igual o -  
mayor que la obtenida para ese período de retor-  
no.

Y = Valor máximo para un Tr dado.

$\bar{Y}$  = Valor medio de los máximos anuales registrados.

Y<sub>i</sub> = Valores máximos anuales registrados.

$\sigma_N, \bar{Y}_N$  = Constantes función de N (Tabla 4-2).

$\sigma_y$  = Desviación estándar de los valores máximos anua-  
les.

Para calcular el intervalo de confianza, es decir, a --  
qué dentro del cual puede variar "Y" dependiendo del -  
tamaño del registro N, se hace lo siguiente: si  $\phi = 1^{-1/Tr}$   
varía entre 0.2 y 0.8, el intervalo se calcula de acuerdo  
do con la fórmula:

$$\Delta Y = \pm \sqrt{N} \alpha \sigma_m \frac{\sigma_y}{\sigma_n \sqrt{N}} \quad (4-16)$$

donde

$\sqrt{N} \alpha \sigma_m$  es función de  $\phi$  (Tabla 4-3).

TABLA 4-2

N	$\bar{Y}_N$	$\sigma_N$	N	$\bar{Y}_N$	$\sigma_N$
8	.4843	.9043	35	.54034	1.12847
9	.4902	.9288	36	.5410	1.1313
10	.4952	.9497	37	.5418	1.1339
11	.4996	.9676	38	.5424	1.1363
12	.5035	.9833	39	.5430	1.1388
13	.5070	.9972	40	.54362	1.14132
14	.5100	1.0095	41	.5442	1.1436
15	.5128	1.02057	42	.5448	1.1458
16	.5157	1.0316	43	.5453	1.1480
17	.5181	1.0411	44	.5448	1.1499
18	.5202	1.0493	45	.54630	1.15185
19	.5220	1.0566	46	.5468	1.1538
20	.52355	1.06283	47	.5473	1.1557
21	.5252	1.0696	48	.5477	1.1574
22	.5268	1.0754	49	.5481	1.1590
23	.5283	1.0811	50	.54854	1.16066
24	.5296	1.0864	51	.5489	1.1623
25	.53086	1.09145	52	.5493	1.1638
26	.5320	1.0961	53	.5497	1.1653
27	.5332	1.1004	54	.5501	1.1667
28	.5343	1.1047	55	.5504	1.1681
29	.5353	1.1086	56	.5508	1.1696
30	.53622	1.11238	57	.5511	1.1708
31	.5371	1.1159	58	.5515	1.1721
32	.5380	1.1193	59	.5518	1.1734
33	.5388	1.1226	60	.55208	1.17467
34	.5396	1.1255	62	.5527	1.1770

TABLA 4-2 (continuación)

N	$\bar{Y}_N$	$\sigma_N$
64	.5533	1.1793
66	.5538	1.1814
68	.5543	1.1834
70	.55477	1.18536
72	.5552	1.1873
74	.5557	1.1890
76	.5561	1.1906
78	.5565	1.1923
80	.55688	1.19382
82	.5572	1.1953
84	.5576	1.1967
86	.5580	1.1980
88	.5583	1.1994
90	.55860	1.20073
92	.5589	1.2020
94	.5592	1.2032
96	.5595	1.2044
98	.5598	1.2055
100	.56002	1.20649
150	.56461	1.22534
200	.56715	1.23598
250	.56878	1.24292
300	.56993	1.24786
400	.57144	1.25450
500	.57240	1.25880
750	.57377	1.26506
1000	.57450	1.26851
$\infty$	.57722	1.28255

TABLA 4-3

$\phi$	$\sqrt{N} \alpha \sigma_m$
.01	(2.1607)
.02	(1.7894)
.05	(1.4550)
.10	(1.3028)
.15	1.2548
.20	1.2427
.25	1.2494
.30	1.2687
.35	1.2981
.40	1.3366
.45	1.3845
.50	1.4427
.55	1.5130
.60	1.5984
.65	1.7034
.70	1.8355
.75	2.0069
.80	2.2408
.85	2.5849
.90	(3.1639)
.95	(4.4721)
.98	(7.0710)
.99	(10.0000)

$\sigma_N$  es función de N (tabla 4-2)

$\sigma_Y$  se calcula de acuerdo con la ecuación (4-15)

Si  $\phi$  es mayor que 0.9, el intervalo se calcula como:

$$\Delta Y = \pm \frac{1.14\sigma_Y}{\sigma_N} \quad (4-17)$$

La zona de  $\phi$  comprendida entre 0.8 y 0.9 se considera de transición; esto es, el valor de  $\Delta Y$  es proporcional al calculado con las ecuaciones (4-16 y 4-17), dependiendo de su posición.

El valor real de Y variará entre el valor obtenido por la ecuación (4-13) más o menos el intervalo de confianza.

#### IV.6.2 ECUACIÓN EXTREMAL

Existen otros modos de obtener el régimen de oleaje extraordinario. Por ejemplo, si se conoce el régimen de oleaje normal  $F(H_s)$  se procedería de la siguiente forma:

Si se dispone de la función probabilística de distribución de la variable  $F(H_s)$ , que no es más que el régimen de oleaje normal y del número de máximos o extre -

mos posibles  $n(H_s)$ , que posteriormente se explica cómo se calcula, la función de distribución de los extremos  $\phi(H_s)$ , o régimen de temporales, se puede calcular mediante la función extremal:

$$\phi(H_s) = [F(H_s)]^{n(H_s)} \quad (4-18)$$

donde se ha supuesto implícitamente la independencia entre sí de cada experimento estadístico. Desde un punto de vista práctico es necesario pues, conocer  $F(H_s)$  y  $n(H_s)$ .

$F(H_s)$  se obtiene como un régimen de oleaje normal, a partir de cartas del tipo "Sea and Swell". Existen otros métodos de obtener el régimen de oleaje. Un resumen podría ser el siguiente:

A partir de un conjunto de observaciones visuales puntuales de la altura de ola, se puede relacionar la altura visual y la altura significativa de forma empírica.

También puede obtenerse este conjunto de la curva de evolución de  $H_s$  en el tiempo -la llamada curva de estados del mar- obtenida a partir de los registros reales procedentes de una estación oceanográfica.

En el primer caso, las probabilidades se evalúan como el cociente de casos registrados u observados entre el número total de casos, y en el segundo, la probabilidad se asocia al cociente tiempo de excedencia o tiempo en el que se supera el valor de  $H_s$  entre el tiempo total considerado.

En lo que respecta a  $n(H_s)$ , ésta se obtiene de la curva de estados del mar  $H_s(t)$  como el número de posibles excedencias por año (fig. IV-7). Es pues el cociente entre el tiempo total del año y el tiempo medio de la excedencia a ese nivel. Este último valor se obtiene simplemente sumando el tiempo de las excedencias a un nivel y dividiendo por el número de excedencias a ese nivel.

La ventaja de este método radica en que, si se obtiene  $F(H_s)$  o régimen de oleaje normal de un conjunto de observaciones puntuales y se evalúa  $n(H_s)$  de la curva de evolución de estados del mar  $H_s$ , podría bastar con un año de curva de estados del mar.

El método, combinado con un conjunto de observaciones puntuales, tiene mayor poder resolutivo que el anteriormente expuesto.

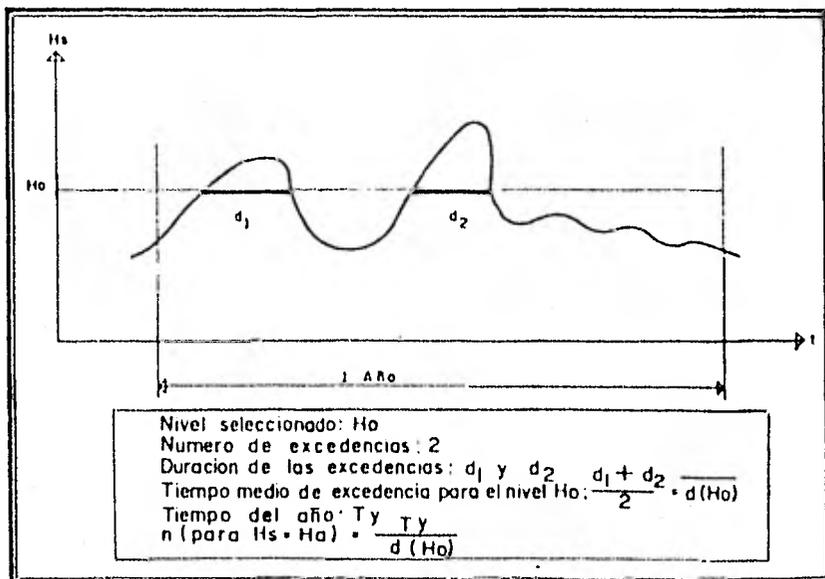


FIGURA IV-7 Exámen de las excedencias a partir de la curva de estados del mar.

**CAPITULO V**

## MEDICIONES EN EL SITIO

En la realización de estudios y proyectos de gran importancia, no resulta confiable en el diseño de obras costeras partir de análisis de predicción del oleaje o de información estadística reportada para áreas oceánicas muy grandes. Por lo anterior, lo más conveniente es basarse en datos oceanográficos medidos directamente en el sitio de proyecto.

### V.I FORMA DE MEDICIÓN

La medición puede efectuarse tan sencillamente como fijar una regla graduada y observar los cambios de nivel al pasar una ola, así como su período por medio de un cronómetro. Con esto, se tendrá como inconveniente su bajo nivel de operatividad y precisión, ya que las mediciones difícilmente se podrían efectuar en períodos muy largos, en forma contínua, y con poca o nula visibilidad, además de estar supeditados a la buena o mala estimación del observador.

Para medir el oleaje en forma sistemática se han desa-

rrollado diversos aparatos llegando, incluso, a la utilización de satélites artificiales equipados con radar.

El aparato más simple para registrar oleaje consiste en un conjunto de resistencias conectadas a un circuito eléctrico, espaciadas convenientemente, las cuales producirán un cambio en el circuito eléctrico al hacer contacto con el agua. El uso de este aparato tendría como desventaja el estar en contacto con la superficie del agua, con los consiguientes problemas de tener que aislarlo y señalizarlo para evitar colisiones con algún objeto que lo pudiera dañar. Además, debería instalarse sobre alguna estructura que no modificara las condiciones de oleaje y que soportara las distintas fuerzas que sobre ella incidieran.

Entre los instrumentos de uso más generalizado se encuentran aquellos que trabajan con sensores de presión. Son colocados en el fondo del mar y por lo general tienen la ventaja de registrar la información en cintas magnéticas, pudiendo permanecer bajo el agua por varias semanas, incluso meses. Al conjunto de elementos necesarios para su operación se le conoce comúnmente como estación oceanográfica.

## V.2 ESTACIÓN OCEANOGRÁFICA

Para la localización de la estación oceanográfica se deberá de tomar en cuenta varios factores, tales como su probable interferencia en futuras labores de construcción o en el tránsito de embarcaciones, pero tratando de que se encuentre lo más cercano al punto de construcción de futuras obras, para registrar el oleaje que les incidirá directamente. Para obras costeras, suele escogerse una profundidad entre 10 y 15 metros, referidos al N.M.M.

Con esta localización tentativa, se deberá efectuar una inspección por buceo y ecosonda para localizar con más detalle una zona, lo suficientemente grande, sin obstáculos, firme y sensiblemente plana para que el aparato quede bien asentado y no sufra hundimientos o complicaciones en el fondo marino. Una vez determinado el punto, de deberá obtener las coordenadas, de ser posible geográficas, lo más preciso posible.

La estación oceanográfica en términos generales estará constituida por muertos de anclaje, boyas de señalamiento, elementos de anclaje y el equipo oceanográfico.

### V.3 MUERTOS DE ANCLAJE

Para el cálculo de los muertos de anclaje no existe un método cien por ciento confiable, debido a que en general se desconoce la magnitud de las fuerzas a las cuales estará sujeto, ya que en parte éstas son función de las características del oleaje que se desea conocer. No obstante lo anterior, con los datos de oleaje de predicción o estadístico disponible, se puede realizar un cálculo preliminar de los muertos de anclaje y, por otra parte, consultar con los fabricantes del equipo oceanográfico y de las boyas.

### V.4 SEÑALAMIENTO

Las boyas de señalamiento deberán encontrarse con facilidad para poder llegar a la estación rápidamente en la colocación y recuperación del equipo. En ellas es conveniente colocar linternas para evitar accidentes cuando no se tenga visibilidad.

### V.5 ELEMENTOS DE ANCLAJE

Los elementos de anclaje de las boyas de señalamiento -

suelen ser cadenas o cables de acero, determinando su longitud los cambios que se espera ocurran en la superficie del mar, además de la profundidad y posibles hundimientos que pudieran sufrir los muertos. La resistencia de dichos elementos de anclaje estará determinada, al igual que el cálculo de los muertos, por las fuerzas que se espera se produzcan en el mar, tomando en cuenta las corrosiones que sufrirán. Por resultar lo anterior muy complicado, y por el bajo valor de estos elementos en relación con el equipo oceanográfico, es más indicado obtener el espesor de ellos con un alto coeficiente de seguridad, revisándolos periódicamente.

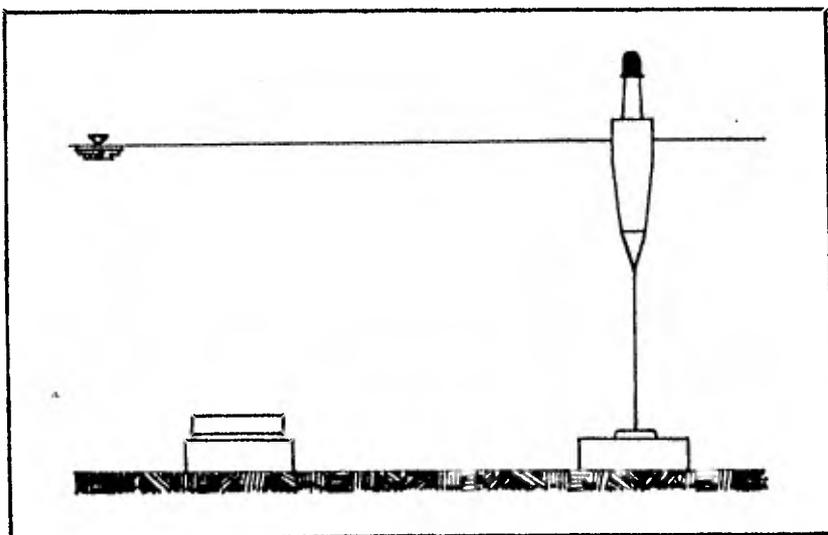


FIGURA V-1 Estación Oceanográfica.

## V.6 EQUIPO OCEANOGRÁFICO

El equipo oceanográfico actualmente disponible es muy variado; con ellos se pueden medir las características principales del mar. Casos típicos usados en México para el registro del oleaje son los olómetros de la marca "Inter-Ocean" y "Sea Data", fabricados en los Estados Unidos.

El olómetro Inter Ocean nos proporciona únicamente el perfil de la superficie del oleaje al pasar las olas por ella. Tiene un sensor de silicón semi-conductor sin partes móviles, compensado por temperatura. Dicho sensor está aislado del agua por una cámara rellena de aceite, con un diafragma plástico de 10 cm de interfase. Su profundidad de instalación es de 0 a 60 m, con rango de  $\pm 5$  mm. Cuenta con una grabadora programable de cassette magnético digital de incremento, con ritmo de grabación cada 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 30 y 60 segundos. El número de medidas de ola por período de grabación puede ser 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 ó 2048 palabras, con tiempo entre períodos de grabación de 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 y 12 horas u operación continua. Su formato de grabación son palabras de 16 bits (4 dígitos BCD con signo), con 2 bits para sin-

cronización y grupos de 64 palabras, con espaciamento\_ entre grupos de 16 bits. La densidad de grabación es de 615 bits por pulgada de cinta. Funciona con 20 baterías alcalinas. Es cilíndrico con 14 cm de diámetro y 81 cm\_ de largo.

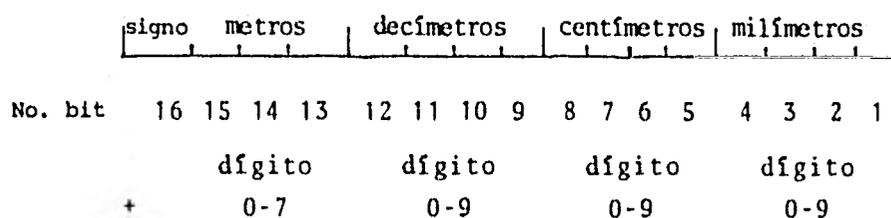


FIGURA V-2 Formato de Grabación.

Este instrumento tiene un transductor de presión dife - rencia en uno de cuyos lados se detecta la columna de\_ agua total a través de un filtro de paso bajo con una - constante de 4 minutos que filtra el oleaje. El otro la\_ do del transductor detecta la columna total de agua in- cluyendo las olas. La diferencia entre los dos es, por\_ consiguiente, la señal del oleaje, independientemente - de los cambios de la columna de agua debidos a marea, - presión barométrica, etc.

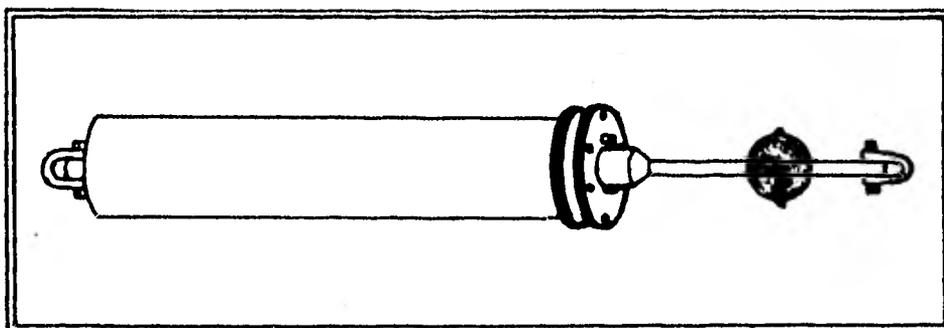


FIGURA V-3 Olómetro con sensor de presión.

La duración del cassette está determinada por la programación que se elija, dependiendo ésta a su vez del número de olas que se desee medir por grupo, y del período de las olas estimado.

Un ejemplo del registro del ológrafo y su correspondiente traducción es el siguiente:

+0050 +0114 +0037 -0130 -0220 -0138 -0027 +0119\_

+0082 -0029 -0106 -0082 -0019 -0010 -0060 -0084  
 -0025 +0030 -0007 -0091 -0106 -0036 +0013 -0041

Traduciendo en centímetros de altura:

+ 5.0 +11.4 + 3.7 -13.0 -22.0 -13.8 - 2.7 +11.9  
 + 8.2 - 2.9 -10.6 - 8.2 - 1.9 - 1.0 - 6.0 - 8.4  
 - 2.5 + 3.0 - 0.7 - 9.1 -10.6 - 3.6 + 1.3 - 4.1

Tomando máximos y mínimos tenemos:

(cm) Máximo	(cm) Mínimo	(cm) Altura Registrada	(seg) Período
+11.4	-22.0	31.4	6
+11.9	-10.6	22.5	6
- 1.0	- 9.4	7.4	6
+ 3.0	-10.6	13.6	4

Estos valores de altura de oleaje hay que corregirlos\_ por el factor de amortiguamiento de presión (K'):

$$K = [\cosh(2\pi d/L)]^{-1}$$

donde

$$L = (gt^2/2\pi) \tanh(2\pi d/L)$$

d = profundidad

T = período

$$K = \frac{P}{P_0}$$

donde

P = presión en fondo

P<sub>0</sub> = presión en superficie

$$K' = \frac{1}{K}$$

Resolviendo la ecuación para 4 y 6 segundos de período:

$$K'_4 = 6.4430$$

$$K'_6 = 1.9681$$

$$H_{\text{real}} = H_{\text{registrada}} \times K'$$

Resultando de lo anterior:

(cm) Altura Registrada	(seg) Período	(cm) Altura Real
31.4	6	61.8
22.5	6	44.3
7.4	6	14.6
13.6	4	87.6

En lo que respecta al olómetro Sea Data, su funciona --  
 miento básicamente es igual al Inter-Ocean, pero presen  
 ta varios adelantos.

El olómetro Sea Data además de las alturas y períodos - del oleaje, proporciona la dirección de éste. A diferencia del anterior, cuenta únicamente con un sensor que mide la presión ocasionada por la columna total de agua que sobre él se encuentra. Es un conducto pequeño que sale del interior del aparato y está en contacto con el agua, separando al sensor de ésta una pequeña capa de a ceite. Dependiendo de la opción que se elija entre los diferentes sensores disponibles, puede ser instalado a más de 1000 m de profundidad.

Existen también las llamadas "waverider" que son boyas con mecanismos que detectan el movimiento en tres dimen siones, proporcionando así el perfil del oleaje, transmi tiendo estos datos a una estación terrestre. Por estar en la superficie presentan el riesgo de ser dañadas por alguna embarcación fácilmente, por lo que no han tenido mucha aceptación en México.

## V.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

La información obtenida en el sitio se procesará en com putadora debido a la gran cantidad de datos.

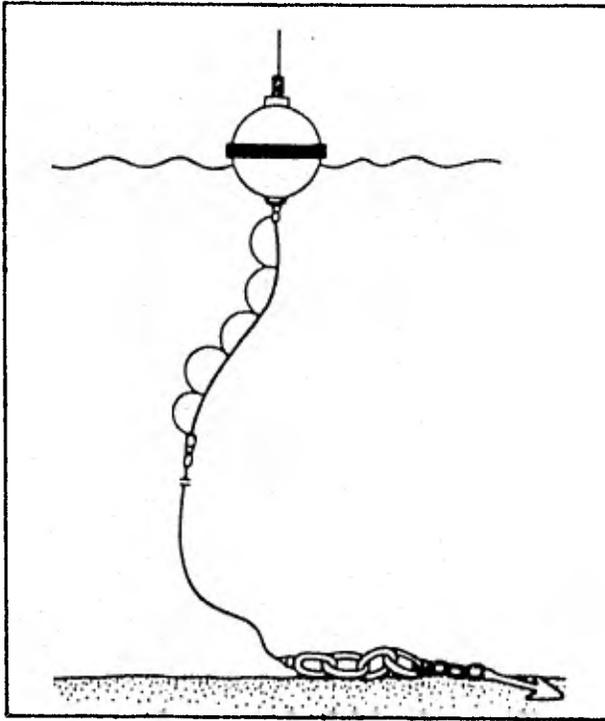


Fig. V-4. Boya Waverider.

El programa para dicho procesamiento tiene que recopilar la información en rangos pre-establecidos para llegar a cuadros que contengan la información en períodos determinados, por ejemplo meses o años, y poder darle a éstos un tratamiento estadístico, similar al que se efectúa con las cartas Sea and Swell, pero con datos más confiables.

**CAPITULO VI**

## EJEMPLOS DE APLICACION

Como ejemplo para la aplicación de los métodos anteriormente descritos, se analizará el oleaje en la zona del futuro Puerto Industrial Laguna del Ostión, en Coatzacoalcos, Ver., que se encuentra situado aproximadamente en los  $18^\circ$  de latitud norte y  $95^\circ$  de longitud oeste.

### VI.1 OLEAJE NORMAL

Para la determinación del régimen de oleaje normal, se procesará información estadística contenida en cartas y por otra parte, la resultante de un año de operación de un olómetro en el lugar de interés.

#### VI.1.1 CARTAS DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

La información estadística por analizar es la proveniente del Atlas Sea and Swell, Estadísticas Ocean Waves y de la firma A.H. Glenn

### VI.1.1.1 ATLAS SEA AND SWELL

Para el caso que nos ocupa, se procesa y analiza la información reportada para la Zona No. 12, la cual tiene como límite norte el paralelo 20°N y como límite sur, parte de las costas de Veracruz, Tabasco y Yucatán, abarcando un área oceánica de aproximadamente 100,000 Km<sup>2</sup>.

El número de observaciones reportadas es de 843, siendo para cada mes las siguientes:

PERIODO	O L E A J E		
	LOCAL	DISTANTE	TOTAL
Enero	46	36	82
Febrero	38	22	60
Marzo	47	29	76
Abril	65	41	106
Mayo	46	33	79
Junio	42	24	66
Julio	47	22	69
Agosto	32	25	57
Septiembre	42	25	67
Octubre	22	13	35
Noviembre	36	25	61

Diciembre	47	38	85
Anual	510	333	843

Para su procesamiento se tomarán los rangos de altura en que se subdividen, pero como la publicación reporta en el caso de oleaje alto, mayores de 8 y 12 pies para oleaje local y distante respectivamente, se les dará el límite superior a criterio personal.

#### R A N G O    E N    M E T R O S

Tipo de oleaje	Bajo	Medio	Alto	Calmas
Oleaje local	0.305-0.915	0.915-2.440	2.440-3.600	0-000-0.305
Oleaje distante	0.305-1.830	1.830-3.660	3.660-4.860	0.000-0.305

La información viene reportada por direcciones, asociándose a cada una de ellas unos rangos de altura que se han observado, en forma mensual y distinguiendo oleaje local y distante.

De acuerdo a dichas observaciones se elaboraron los cuadros VI-1 al VI-6.

A partir de los anteriores cuadros es posible calcular -

**ANALISIS OLEAJE**  
**PORCENTAJE DE ACCION**  
**POR ALTURA Y DIRECCION**

CIANURO VI-1

PERIODO	RANGO m.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION									CALMAS	TOTAL
				NORTE		NORDESTE		ESTE		SUDDESTE		OTRAS DIRECCION		
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE			
E N E R O	L 0.3 - 0.91 D 0.3 - 1.83	0.01	1.07	3.62	2.46	3.71	7.35	3.71	--	--	--	--	--	20.85
	L 0.91 - 3.44 D 1.83 - 8.69	1.06	8.78	4.78	3.73	5.61	3.62	7.51	--	--	--	--	--	25.25
	L 3.44 - 8.60 D 8.60 - 4.86	3.08	4.88	1.15	1.27	1.90	0.00	0.00	--	--	--	--	--	4.32
	<b>TOTALES</b>				9.59	7.46	11.22	10.97	11.22	0.60	0.00	0.00	25.56	24.02
F E B R E R O	L 0.3 - 0.91 D 0.3 - 1.83	0.01	1.07	8.42	5.13	6.97	3.30	10.18	5.13	--	--	--	--	39.13
	L 0.91 - 3.44 D 1.83 - 8.69	1.06	8.78	1.72	0.00	0.00	0.00	5.02	0.00	--	--	--	--	6.74
	L 3.44 - 8.60 D 8.60 - 4.86	3.08	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	--	--	0.00
	<b>TOTALES</b>				10.14	5.13	6.97	3.30	15.20	5.13	0.00	0.00	25.67	28.46
M A R Z O	L 0.3 - 0.91 D 0.3 - 1.83	0.01	1.07	2.63	3.89	6.80	2.67	0.00	5.34	2.63	0.00	--	--	23.96
	L 0.91 - 3.44 D 1.83 - 8.69	1.06	8.78	7.88	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	3.82	--	--	17.00
	L 3.44 - 8.60 D 8.60 - 4.86	3.08	4.88	0.00	1.30	0.00	0.00	9.28	0.00	3.90	0.00	--	--	14.48
	<b>TOTALES</b>				10.51	6.49	6.80	2.67	9.28	5.34	10.53	3.82	27.87	16.69

FUENTE: SEA AND SWEL ATLAS

**ANALISIS OLEAJE**  
**PORCENTAJE DE ACCION**  
**POR ALTURA Y DIRECCION**

CUADRO VI-2

PERIODO	RANGO m.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION										CALMAS	TOTAL
				NORTE		NOR-ESTE		ESTE		SUR-ESTE		OTRAS DIRECCION			
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE				
A B R I L	L 0.0 - 0.01 D 0.0 - 1.00	0.01	1.07	6.62	4.88	8.59	2.71	11.41	5.70	--	--	--	--	39.91	
	L 0.01 - 2.44 D 1.00 - 3.00	1.00	3.78	5.64	1.93	0.00	0.00	7.60	1.88	--	--	--	--	17.05	
	L 2.44 - 3.00 D 3.00 - 4.00	3.00	4.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.93	--	--	--	--	1.85	
	<b>TOTALES</b>				12.26	7.73	8.59	2.71	19.01	8.51	0.00	0.00	22.42	18.77	100
M A Y O	L 0.0 - 0.01 D 0.0 - 1.00	0.01	1.07	6.41	--	6.20	5.01	16.38	16.35	5.24	--	--	--	55.59	
	L 0.01 - 2.44 D 1.00 - 3.00	1.00	3.78	0.00	--	2.53	0.00	5.17	2.44	0.00	--	--	--	10.14	
	L 2.44 - 3.00 D 3.00 - 4.00	3.00	4.00	0.00	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	--	0.00	
	<b>TOTALES</b>				6.41	0.00	8.73	5.01	21.59	18.79	5.24	0.00	20.57	13.70	100
J U N I O	L 0.0 - 0.01 D 0.0 - 1.00	0.01	1.07	6.36	0.00	7.68	--	15.20	6.18	7.64	--	--	--	43.06	
	L 0.01 - 2.44 D 1.00 - 3.00	1.00	3.78	0.00	4.73	3.14	--	4.53	0.00	0.00	--	--	--	12.40	
	L 2.44 - 3.00 D 3.00 - 4.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	--	0.00	0.00	0.00	--	--	--	0.00	
	<b>TOTALES</b>				6.36	4.73	10.82	0.00	19.73	6.18	7.64	0.00	22.18	22.36	100

FUENTE: SFA AND SWEL ATLAS

**ANALISIS OLEAJE**  
**PORCENTAJE DE ACCION**  
**POR ALTURA Y DIRECCION**

CUADRO VI-3

PERIODO	RANGOS m.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION									CALMAS	TOTAL
				NORTE		NORESTE		ESTE		SURESTE		OTRAS DIRECCION		
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE			
J U L I O	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07	--	4.46	13.07	0.00	10.02	4.41	--	--	--	--	31.96
	D 0.3 - 1.23			--	--	--	--	--	--	--	--			
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73	--	0.00	8.73	4.46	4.29	1.46	--	--	--	--	18.94
	D 1.23 - 3.66			--	--	--	--	--	--	--	--			
	L 2.44 - 3.66	3.03	4.33	--	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	--	--	--	--	1.46
D 3.66 - 4.99	--			--	--	--	--	--	--	--				
TOTALES				0.00	4.46	21.80	4.46	14.31	7.33	0.00	0.00	22.99	24.65	100
A G O S T O	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07	5.05	--	10.52	8.72	5.05	3.51	--	--	--	--	32.85
	D 0.3 - 1.23			--	--	--	--	--	--	--	--			
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73	0.00	--	3.51	3.56	0.00	0.00	--	--	--	--	7.07
	D 1.23 - 3.66			--	--	--	--	--	--	--	--			
	L 2.44 - 3.66	3.03	4.33	0.00	--	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	--	--	0.00
D 3.66 - 4.99	--			--	--	--	--	--	--	--				
TOTALES				5.05	0.00	14.03	12.28	5.05	3.51	0.00	0.00	18.04	42.04	100
S E P T I E M B R E	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07	4.52	4.54	7.52	0.00	9.03	4.48	7.57	0.00	--	--	37.66
	D 0.3 - 1.23			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73	5.96	7.40	0.00	0.00	6.01	0.00	3.09	2.99	--	--	25.45
	D 1.23 - 3.66			--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	L 2.44 - 3.66	3.03	4.33	1.45	0.00	0.00	5.97	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	7.4
D 3.66 - 4.99	--			--	--	--	--	--	--	--	--	--		
TOTALES				11.91	11.94	7.52	5.97	15.04	4.48	10.66	2.99	20.54	8.95	100

FUENTE: SEA AND SWEL ATLAS

**ANALISIS OLEAJE**  
**PORCENTAJE DE ACCION**  
**POR ALTURA Y DIRECCION**

CUADRO VI-4

PERIODO	RANGO m.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION										CALMAS	TOTAL
				NORTE		NORESTE		ESTE		SURESTE		OTRAS DIRECCION			
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE				
O C T U B R E	L 0.3 - 0.91	0.41	1.07	2.83	2.91	8.80	11.29	5.66	--	0.00	0.00	--	--	31.49	
	D 0.3 - 1.03														
	L 0.91 - 2.44	1.66	2.78	28.00	5.63	0.00	2.83	0.00	--	8.80	2.97	--	--	48.83	
	D 1.03 - 2.22														
	L 2.44 - 3.00	2.02	4.66	0.00	8.54	0.00	0.00	0.00	--	0.00	0.00	--	--	8.54	
D 2.22 - 4.00															
<b>TOTALES</b>				31.43	17.08	8.80	14.12	5.66	0.00	8.80	2.97	5.03	6.11	100	
N O V I E M B R E	L 0.3 - 0.91	0.41	1.07	0.00	4.92	6.40	0.00	8.26	8.26	0.00	2.46	--	--	30.30	
	D 0.3 - 1.03														
	L 0.91 - 2.44	1.66	2.78	8.26	3.28	4.82	0.00	6.49	4.85	4.72	0.00	--	--	32.42	
	D 1.03 - 2.22														
	L 2.44 - 3.00	2.02	4.66	0.00	0.00	0.00	6.56	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	6.56	
D 2.22 - 4.00															
<b>TOTALES</b>				8.26	8.20	11.22	6.56	14.75	13.11	4.72	2.46	22.26	8.46	100	
D I C I E M B R E	L 0.3 - 0.91	0.41	1.07	4.73	5.72	11.93	5.94	4.62	2.33	7.19	--	--	--	42.46	
	D 0.3 - 1.03														
	L 0.91 - 2.44	1.66	2.78	1.16	2.33	2.45	1.21	4.62	2.33	0.00	--	--	--	14.10	
	D 1.03 - 2.22														
	L 2.44 - 3.00	2.02	4.66	2.40	0.00	0.00	0.00	1.26	3.38	0.00	--	--	--	7.04	
D 2.22 - 4.00															
<b>TOTALES</b>				8.29	8.05	14.38	7.15	10.50	8.04	7.19	0.00	9.09	27.31	100	

FUENTE: SEA AND SWEL ATLAS

ANALISIS OLEAJE  
PORCENTAJE DE ACCION  
POR ALTURA Y DIRECCION

CUADRO VI-5

PERIODO	RANGO m.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION									OTRAS DIRECCION	CALMAS	TOTAL
				NORTE		NOROESTE		ESTE		SUROESTE					
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE				
I N V I E R N O	L 0.3 - 0.91	0.91	1.07	4.60	3.70	5.68	4.61	4.20	3.28	0.92	0.00	--	--	26.97	
	D 0.3 - 1.63														
	L 0.91 - 2.44	1.63	2.73	5.01	1.86	2.11	1.36	4.21	0.00	1.39	1.33	--	--		17.28
	D 1.63 - 3.66														
L 2.44 - 3.60	3.03	4.88	0.43	0.93	0.72	0.00	3.23	0.00	1.36	0.00	--	--	6.67		
D 3.66 - 4.88															
TOTALES				10.04	6.49	8.51	5.97	11.64	3.28	3.67	1.33	26.39	22.69	100	
P R I M A V E R A	L 0.3 - 0.91	0.91	1.07	6.48	2.06	7.60	2.72	13.97	9.18	3.66	--	--	--	45.67	
	D 0.3 - 1.63														
	L 0.91 - 2.44	1.63	2.73	2.38	2.06	1.62	0.00	6.05	1.56	0.00	--	--	--		13.65
	D 1.63 - 3.66														
L 2.44 - 3.60	3.03	4.88	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	--	--	--	0.00		
D 3.66 - 4.88															
TOTALES				8.86	4.51	9.22	2.72	20.00	11.13	3.66	0.00	21.78	18.12	100	
V E R A N O	L 0.3 - 0.91	0.91	1.07	3.06	3.17	10.39	2.57	8.21	4.17	2.63	0.00	--	--	34.20	
	D 0.3 - 1.63														
	L 0.91 - 2.44	1.63	2.73	2.07	2.57	4.16	2.65	3.62	0.52	1.07	1.04	--	--		17.70
	D 1.63 - 3.66														
L 2.44 - 3.60	3.03	4.88	0.50	0.00	0.00	2.07	0.00	0.52	0.00	0.00	--	--	3.09		
D 3.66 - 4.88															
TOTALES				5.63	5.74	13.55	7.29	11.83	5.21	3.70	1.04	20.67	24.34	100	

FUENTE: SEA AND SWEL ATLAS

**ANALISIS OLEAJE**  
**PORCENTAJE DE ACCION**  
**POR ALTURA Y DIRECCION**

CUADRO VI-6

PERIODO	RANGO Wp.	MARCA CLASE LOCAL	MARCA CLASE DISTANTE	DIRECCION										CALMAS	TOTAL
				NORTE		NOROESTE		ESTE		NOROESTE		OTRAS DIRECCION			
				LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE	LOCAL	DISTANTE				
O T O R O	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07												
	D 0.3 - 1.23			2.77	4.91	9.46	4.97	6.05	3.88	3.37	0.83	--	--	36.24	
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73												
	D 1.03 - 2.66			8.86	3.29	2.77	1.12	4.36	2.73	3.30	0.57	--	--	26.99	
	L 2.44 - 3.90	2.02	4.26												
D 2.66 - 4.66	1.13			1.65	0.00	2.21	0.59	1.58	0.00	0.00	--	--	7.17		
TOTALES				12.76	9.85	12.23	8.30	11.00	8.19	6.67	1.40	12.74	16.86	100	
A N U A L	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07												
	D 0.3 - 1.03			4.42	3.35	8.14	3.66	8.42	5.37	2.65	0.18	--	--	36.19	
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73												
	D 1.03 - 2.66			4.38	2.39	2.58	1.20	4.65	1.17	1.31	0.70	--	--	18.38	
	L 2.44 - 3.90	2.02	4.26												
D 2.66 - 4.66	0.47			0.71	0.18	0.95	0.96	0.58	0.35	0.00	--	--	4.20		
TOTALES				9.27	6.45	10.90	5.81	14.03	7.11	4.32	0.88	20.78	20.45	100	
	L 0.3 - 0.91	0.01	1.07												
	D 0.3 - 1.03												--	--	
	L 0.91 - 2.44	1.03	2.73												
	D 1.03 - 2.66												--	--	
	L 2.44 - 3.90	2.02	4.26												
D 2.66 - 4.66												--	--		
TOTALES														100	

FUENTE: SEA AND SWEL ATLAS

la altura significativa de ola, para cada dirección y período. Por ejemplo, tomando el mes de enero, en la dirección norte, se tiene:

RANGO	MARCA DE CLASE	PORCENTAJE DE ACCION	
		LOCAL	DISTANTE
L 0.3-0.91	0.61	3.62	2.46
D 0.3-1.83	1.07		
L 0.91-2.44	1.68	4.78	3.73
D 1.83-3.66	2.75		
L 2.44-3.60	3.02	1.15	1.27
D 3.66-4.86	4.26		

Para oleaje local el tercio de olas más altas estará compuesto por:

$$\frac{1.15}{0.33(9.55)} = 36.13\% \text{ de olas de } 3.02 \text{ m, y}$$

100-36.13 = 63.87% de las olas mayores del rango de 0.91-2.44 m.

Suponiendo una distribución lineal de las olas de dicho rango:

$$2.44 - \frac{(0.6387)(9.55)(0.33)}{(2)(4.78)}(2.44-0.91) = 2.11\text{m}$$

resultando:

$$H_{1/3} = 0.3613(3.02) + 0.6387(2.11)$$

$$H_{1/3} = 2.46 \dot{=} 2.5 \text{ m}$$

En oleaje distante:

$$\frac{1.27}{0.33(7.46)} = 51.07\% \text{ de olas de 4.26 m, y}$$

100 - 51.07 = 48.93% de las olas mayores del rango de 1.83-3.66 m.

$$3.66 - \frac{0.4893(7.46)(0.33)}{(2)(3.73)} (3.66-1.83) = 3.36 \text{ m}$$

$$H_{1/3} = 0.5107(4.26) + 0.4893(3.36)$$

$$H_{1/3} = 3.72 \dot{=} 3.7 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro VI-7.

Con los resultados de esta tabla se podría trabajar para el cálculo de varios fenómenos, como podría ser el transporte litoral por métodos teóricos.

Con el objeto de comparar los resultados de el análisis de información de diferentes fuentes, se calcularán las alturas significantes y los tiempos de acción para cada una de ellas, pero ya no desglosada en oleaje local y -- distante. Para lo anterior, se deberán suponer nuevos -- rangos de altura.

ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE Y PORCENTAJES  
DE ACCION POR DIRECCION

CUADRO VI-7

PERIODO	HORAS PERIODO	NORTE				NORRESTE				ESTE				NOROESTE				OTRAS DIR.	CALMAS	TOTAL
		% ACCION		H 1/3 m.		% ACCION		H 1/3 m.		% ACCION		H 1/3 m.		% ACCION		H 1/3 m.				
		L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O			
ENERO	744	9.5	7.5	2.5	3.7	11.2	11	2.6	2.8	11.2	0	2.1	0	0	0	0	0	25.6	24	100
FEB.	1172	10.1	5.1	1.7	1.6	7	5.3	0.8	1.6	15.2	5.1	2	1.6	0	0	0	0	25.7	28.5	100
MARZO	711	10.5	6.5	2.1	3.6	6.8	2.7	0.8	1.6	9.3	5.3	3.4	1.6	10.5	3.8	3.1	3.3	27.9	16.7	100
ABRIL	720	12.3	7.7	2.1	3.3	8.6	2.7	0.8	1.6	19	8.5	2	3.2	0	0	0	0	22.4	18.8	100
MAYO	744	6.4	0	0.8	0	8.7	5	1.9	1.6	21.6	18.8	1.9	2.1	5.2	0	0.8	0	20.6	13.7	100
JUNIO	720	6.4	4.7	0.8	3.4	10.8	0	1.9	0	19.7	6.2	1.8	1.6	7.6	0	0.8	0	22.2	22.4	100
JULIO	711	0	4.5	0	1.6	21.8	4.5	2	3.3	14.3	7.3	1.9	3.6	0	0	0	0	23.0	24.6	100
AGOS.	744	5.1	0	0.8	0	14	12.3	1.9	2.7	5.1	3.5	0.8	1.6	0	0	0	0	18.0	42.0	100
SEP.	720	11.9	11.9	2.5	3.2	7.5	6	0.8	4.7	15	4.5	2	1.6	10.7	3	1.9	3.3	20.5	9.0	100
OCT.	711	31.4	17.1	2.2	4.4	8.8	14.1	0.8	2.4	5.7	0	0.8	0	8.8	3	2.2	3.3	5.0	6.1	100
NOV.	720	8.3	8.2	2.2	4.2	11.2	6.5	2.0	1.6	14.7	13.1	2	2.9	4.7	2.5	2.2	1.6	22.3	8.5	100
DIC.	711	8.3	8	3.1	2.7	11.4	7.2	1.7	2.3	10.5	8	2.5	4.3	7.2	0	0.8	0	9.1	27.3	100
ENE.	2160	10	6.5	2.2	3.4	8.5	6	2.3	2.5	11.6	3.3	2.9	1.6	3.7	1.3	3.1	3.3	26.4	22.7	100
FEB.	2181	8.9	4.5	1.9	3.7	9.2	2.7	1.7	1.6	20	11.1	1.9	2.6	3.7	0	0.8	0	21.8	18.1	100
MAR.	2208	5.6	5.8	2.4	3	14.6	7.3	1.9	4	11.8	5.2	2	2.7	3.7	1	1.9	3.3	20.7	24.3	100
ABRIL	2208	12.8	9.8	2.4	4.0	12.2	8.3	1.8	2.2	11	8.2	2.3	3.7	6.7	1.4	2.1	3	12.7	16.9	100
MAYO	2760	9.3	6.4	2.3	3.5	10.9	5.8	2	3	14	7.1	2.5	2.8	4.3	0.9	2.4	3.3	20.8	20.5	100

FUENTE: SEA AND SKILL ATLAS.

Los nuevos rangos podrían ser los siguientes:

No. Rango	Rango (pies)	Constitución
1	1-3	100% obs. Local Bajas + 40% obs. Distante Bajas
2	3-6	60% obs. Local Medias + 60% - - obs. Distante Bajas
3	6-8	40% obs. Local Medias + 33% - - obs. Distante Medias
4	8-11.8	100% obs. Local Altas + 63% - - obs. Distante Medias
5	11.8-12	4% obs. Distante Medias
6	12-6	100% obs. Distante Altas

Las marcas de clase de cada rango se calcularían de la siguiente forma:

$$M.C.1 = \left\{ \left[ \frac{(0.91-0.30)1.00}{2} \right] + \left[ 0.30 + \frac{(1.83-0.30)0.40}{2} + 0.30 \right] \right\} \div 2$$

$$M.C.1 = 0.60$$

Los porcentajes de acción se calcularían en forma similar, por ejemplo para el mes de enero en la dirección norte resulta:

$$\% = 3.62 + 0.40(2.46)$$

$\xi = 4.60$

En los cuadros VI-8 al VI-11 se muestran los resultados.

Por otra parte, procediendo en forma similar a la obtención del cuadro VI-7, se llega al cuadro VI-12, en el -- que se le asocia una altura significativa a cada rango y -- dirección, graficándose los resultados en las figuras -- VI-1 y VI-6.

#### VI.1.1.2 OCEAN WAVES STATISTICS

El sitio en estudio cae dentro de la Zona No. 22, la -- cual comprende costas del Océano Pacífico y del Golfo de México. Va del paralelo  $10^\circ$  al  $20^\circ$  de latitud norte y -- de meridiano  $90^\circ$  al  $110^\circ$  de longitud oeste.

Los rangos para períodos y laturas usados son los si -- guientes:

RANGO PARA PERIODOS EN SEGUNDOS	ALTURAS EN METROS		
	0-5	0.25	5.00
6-7	0.50	5.50	11.00
8-9	1.00	6.00	12.00

**ANALISIS DE OLEAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION**

CUADRO VI-8

PERIODO	RANGO (pies)	MARCA CLASE (m)	DIRECCION					CALMAS	TOTAL
			NORTE	NORESTE	ESTE	SURESTE	OTRAS		
E N E R O	1 - 3	0.60	4.600	6.649	5.707	0		12.956	
	3 - 6	1.35	4.539	7.778	4.507	0		11.824	
	6 - 8	2.10	5.139	5.439	5.005	0		15.583	
	8 - 11.8	3.00	5.498	4.184	0	0		9.682	
	11.8 - 12	3.65	0.149	0.145	0	0		0.294	
	12 - 16	4.50	1.268	0	0	0		1.268	
	TOTALES			16.993	22.195	11.219	0	25.561	24.024
F E B R E R O	1 - 3	0.60	10.47	8.287	12.257	0		50.064	
	3 - 6	1.35	4.11	1.98	6.09	0		12.187	
	6 - 8	2.10	0.667	0	2.007	0		2.674	
	8 - 11.8	3.00	0	0	0	0		0	
	11.8 - 12	3.65	0	0	0	0		0	
	12 - 16	4.50	0	0	0	0		0	
	TOTALES			15.267	10.267	20.354	0	25.667	26.461
M A R Z O	1 - 3	0.60	4.189	7.871	2.157	2.651		16.868	
	3 - 6	1.35	7.016	1.605	5.203	2.400		15.224	
	6 - 8	2.10	5.582	0	0	2.852		8.434	
	8 - 11.8	3.00	0.821	0	9.270	6.299		16.390	
	11.8 - 12	3.65	0.052	0	0	0.152		0.204	
	12 - 16	4.50	1.503	0	0	0		1.503	
	TOTALES			17.012	9.474	17.619	11.341	27.868	16.684
A B R I L	1 - 3	0.60	8.573	9.668	15.683	0		53.064	
	3 - 6	1.35	6.311	1.624	7.981	0		15.916	
	6 - 8	2.10	2.894	0	5.661	0		8.555	
	8 - 11.8	3.00	1.219	0	1.185	0		2.404	
	11.8 - 12	3.65	0.077	0	0.074	0		0.151	
	12 - 16	4.50	0.925	0	0.934	0		1.859	
	TOTALES			20.000	11.292	27.518	0	22.425	18.764
M A Y O	1 - 3	0.60	6.405	8.207	22.925	5.241		42.778	
	3 - 6	1.35	0	4.527	12.911	0		17.438	
	6 - 8	2.10	0	1.013	2.872	0		3.885	
	8 - 11.8	3.00	0	0	1.539	0		1.539	
	11.8 - 12	3.65	0	0	0.097	0		0.097	
	12 - 16	4.50	0	0	0	0		0	
	TOTALES			6.405	13.747	40.341	5.241	20.570	13.686

FUENTE: SEA AND SWELL GROUP, INC.

**ANALISIS DE OLEAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION**

CUADRO VI-9

PERIODO	RANGO (pies)	MARCA CLASE (m)	DIRECCION					PALMAS	TOTAL
			NORTE	NORESTE	ESTE	SUROESTE	OTRAS		
J U N I O	1 - 3	0.60	6.364	7.682	17.670	7.656		31.372	
	3 - 6	1.35	0	1.882	6.427	0		8.309	
	6 - 8	2.10	1.559	1.254	1.812	0		4.625	
	8 - 11.8	3.00	2.979	0	0	0		2.979	
	11.8 - 12	3.65	0.189	0	0	0		0.189	
	12 - 16	4.30	0	0	0	0		0	
	TOTALES			11.091	10.818	25.909	7.656	22.18	22.364
J U L I O	1 - 3	0.60	1.786	13.072	11.777	0		26.635	
	3 - 6	1.35	2.678	5.235	5.217	0		13.130	
	6 - 8	2.10	0	4.962	2.199	0		7.161	
	8 - 11.8	3.00	0	2.812	0.922	0		3.734	
	11.8 - 12	3.65	0	0.178	0.058	0		0.236	
	12 - 16	4.30	0	0	1.464	0		1.464	
	TOTALES			4.464	26.259	21.637	0	22.980	24.652
A G O S T O	1 - 3	0.60	5.053	14.014	6.456	0		25.523	
	3 - 6	1.35	0	7.337	2.105	0		9.442	
	6 - 8	2.10	0	2.579	0	0		2.579	
	8 - 11.8	3.00	0	2.243	0	0		2.243	
	11.8 - 12	3.65	0	0.142	0	0		0.142	
	12 - 16	4.30	0	0	0	0		0	
	TOTALES			5.053	26.316	8.561	0	18.035	42.935
S E P	1 - 3	0.60	6.337	7.522	10.821	7.567		32.247	
	3 - 6	1.35	6.296	0	6.296	1.854		14.446	
	6 - 8	2.10	4.825	0	2.406	2.321		9.552	
	8 - 11.8	3.00	6.097	0	0	1.970		8.667	
	11.8 - 12	3.65	0.296	0	0	0.119		0.415	
	12 - 16	4.30	0	5.970	0	0		5.970	
	TOTALES			23.851	13.490	26.912	13.731	20.533	8.955
O C T	1 - 3	0.60	3.994	13.314	5.657	0		22.965	
	3 - 6	1.35	18.909	6.771	0	5.280		30.960	
	6 - 8	2.10	13.297	0.934	0	4.500		18.731	
	8 - 11.8	3.00	3.546	1.783	0	1.871		7.200	
	11.8 - 12	3.65	0.226	0.114	0	0.120		0.460	
	12 - 16	4.30	8.543	0	0	0		8.543	
	TOTALES			48.515	22.946	5.657	11.771	5.029	6.114

FUENTE: SEA AND SWELL AGRUPADO.

**ANALISIS DE OLAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION**

CUADRO VI-10

PERIODO	RANGO (pies)	MARCA CLASE (m)	DIRECCION					CALMAS	TOTAL
			NORTE	NORESTE	ESTE	SUROESTE	OTRAS		
NOV	1 - 3	0.60	0	9.016	11.567	0.987			21.570
	3 - 6	1.35	4.957	6.826	8.852	4.308			24.843
	6 - 8	2.10	4.929	1.928	4.198	1.850			12.905
	8 - 11.8	3.00	3.098	0	3.057	0			6.155
	11.8 - 12	3.65	0.197	0	0.193	0			0.390
	12 - 16	4.30	3.279	0	0	0			3.279
	TOTALES			16.459	17.77	27.867	7.181	22.26	8.459
DIC	1 - 3	0.60	7.016	14.506	5.556	7.188			34.266
	3 - 6	1.35	4.129	5.053	4.122	0			13.304
	6 - 8	2.10	1.234	1.379	2.618	0			5.231
	8 - 11.8	3.00	3.867	0.763	2.726	0			7.356
	11.8 - 12	3.65	0.093	0.038	0.007	0			0.138
	12 - 16	4.30	0	0	3.557	0			3.557
	TOTALES			16.339	21.529	18.541	7.188	2.049	27.506
JAN	1 - 3	0.60	6.073	7.527	5.509	0.917			20.026
	3 - 6	1.35	5.221	4.023	4.490	0.835			14.570
	6 - 8	2.10	2.619	1.293	1.683	0.995			6.590
	8 - 11.8	3.00	1.601	1.573	3.234	2.197			8.605
	11.8 - 12	3.65	0.073	0.055	0	0.055			0.183
	12 - 16	4.30	0.931	0	0	0			0.931
	TOTALES			16.518	14.471	14.917	4.999	26.404	22.688
FEB	1 - 3	0.60	7.310	8.685	17.641	5.657			39.293
	3 - 6	1.35	2.665	2.606	9.123	0			14.394
	6 - 8	2.10	1.633	0.649	2.978	0			5.260
	8 - 11.8	3.00	1.299	0	0.954	0			2.253
	11.8 - 12	3.65	0.084	0	0.061	0			0.145
	12 - 16	4.30	0.390	0	0.394	0			0.784
	TOTALES			13.381	11.94	31.134	5.657	21.777	16.117
MAR	1 - 3	0.60	4.332	11.425	9.876	2.627			28.260
	3 - 6	1.35	3.145	4.036	4.674	0.642			12.497
	6 - 8	2.10	1.674	2.534	1.162	0.772			6.142
	8 - 11.8	3.00	2.114	1.668	0.332	0.653			4.767
	11.8 - 12	3.65	0.104	0.104	0.021	0.041			0.270
	12 - 16	4.30	0	2.073	0.523	0			2.596
	TOTALES			11.369	21.840	16.588	4.735	20.674	24.337

FUENTE: SEA AND SWELL AGRUPADO.



**ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE  
Y PORCENTAJE DE ACCION POR  
DIRECCION**

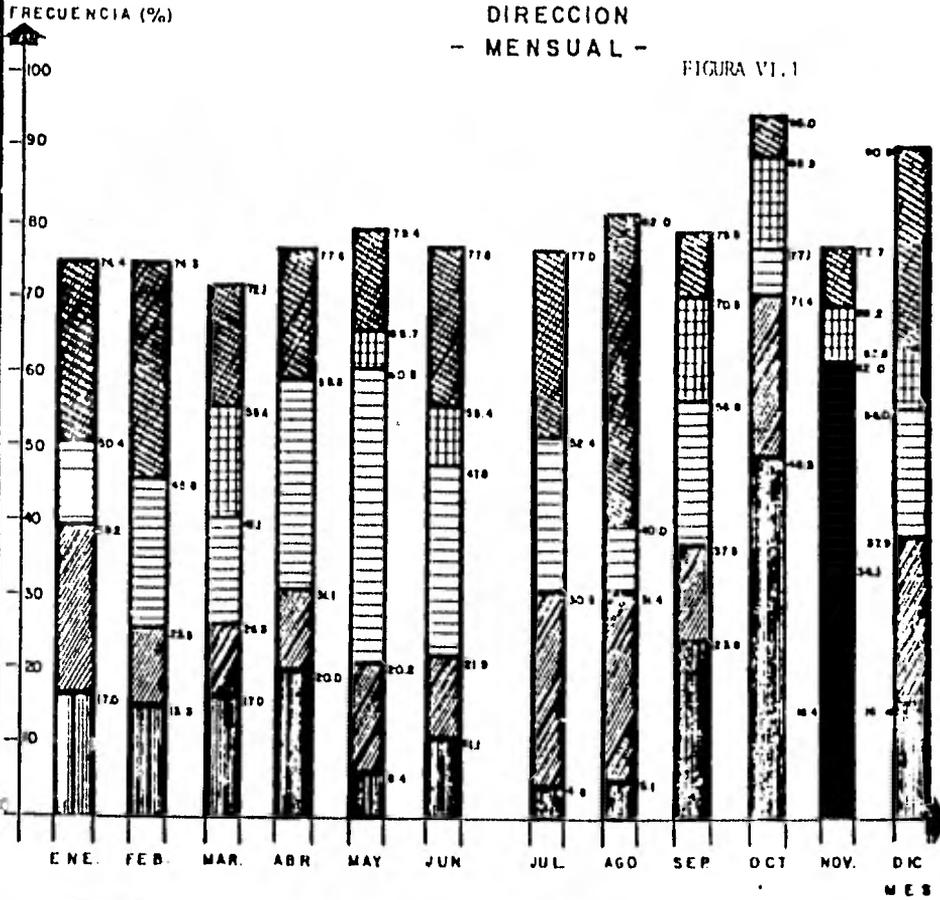
CUADRO VI-12

PERIODO	NORTE		NORESTE		ESTE		NOROESTE		OTRAS	CALMAS	TOTAL
	% ACCION	MS M	% ACCION								
Enero	17.0	3.50	22.2	2.87	11.2	2.00	---	---	25.6	24.0	100
Feb.	15.2	1.53	10.3	1.27	20.3	1.69	---	---	25.7	28.5	100
Mar.	17.0	3.055	9.5	1.224	14.6	3.33	14.3	3.260	27.9	16.7	100
Abril	20.0	2.786	11.3	1.171	27.5	2.534	---	---	22.4	18.8	100
Mayo	6.4	0.813	13.8	1.650	40.3	1.950	5.2	0.813	20.6	13.7	100
Junio	11.1	3.140	10.8	1.634	25.9	1.582	7.6	0.813	22.2	22.4	100
Julio	4.5	1.610	26.3	2.586	21.6	2.913	---	---	23.0	24.6	100
Agosto	5.1	0.813	26.3	2.328	8.6	1.366	---	---	18.0	42.0	100
Sep.	23.8	3.065	13.5	4.533	19.5	1.757	13.7	2.770	20.5	9.0	100
Oct.	48.5	3.937	22.9	1.145	5.7	0.813	11.6	2.290	5.0	6.1	100
Nov.	16.4	4.080	17.7	1.746	27.9	2.530	7.2	1.980	22.3	8.5	100
Dic.	16.4	3.023	21.5	1.877	18.5	4.045	7.2	0.813	9.1	27.3	100
Inv.	16.5	3.07	14.5	2.46	14.9	2.96	5.0	3.26	26.4	22.7	100
Prim.	13.4	2.81	11.9	1.50	31.1	2.12	5.7	0.813	21.8	18.1	100
Ver.	11.4	2.89	21.8	3.42	17.1	2.27	4.7	2.74	20.7	24.3	100
Otoño	22.6	3.72	20.5	1.91	19.2	2.51	8.1	2.19	12.7	16.9	100
Anual	15.7	3.245	16.7	2.485	21.1	2.64	5.2	2.788	20.8	20.5	100

FUENTE : SEA AND SWELL AGRUPADO

ANÁLISIS DE OLEAJE.  
FRECUENCIA ACUMULATIVA POR  
DIRECCION  
- MENSUAL -

FIGURA VI.1



NOTAS:

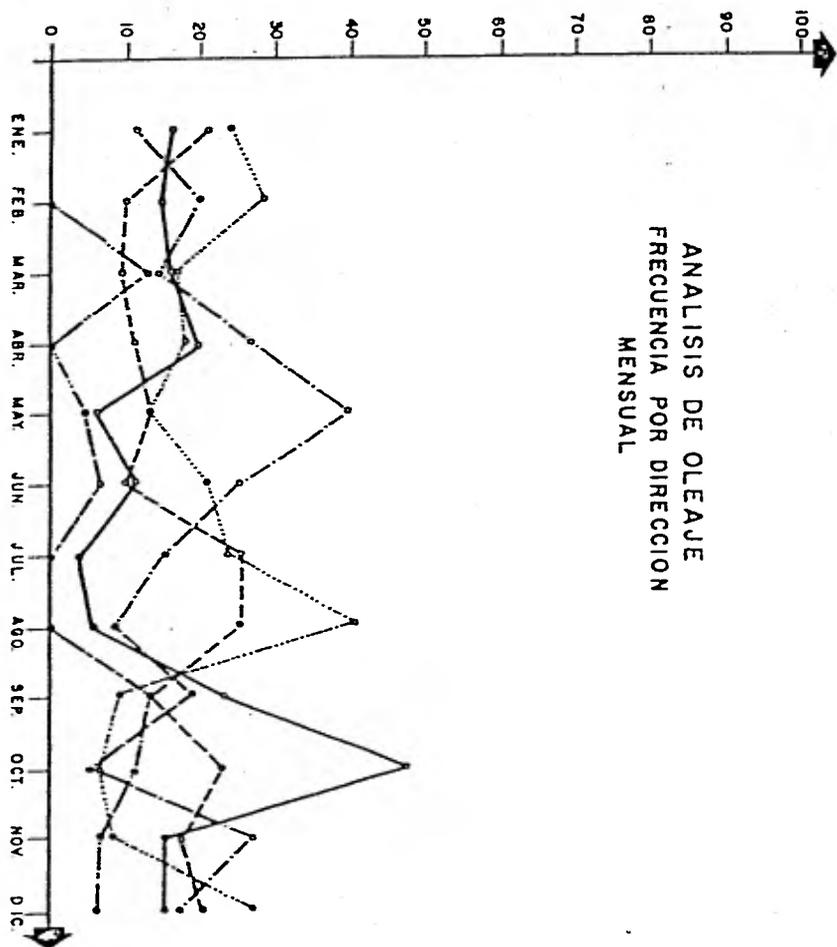
- EL 100% LO COMPLETAN LAS OTRAS DIRECCIONES
- EN EL ANÁLISIS SE AGRUPO EL OLEAJE LOCAL Y DISTANTE

FUENTE:

• SEA AND SWELL, ATLAS

(%) PORCENTAJE DE ACCION

### ANALISIS DE OLEAJE FRECUENCIA POR DIRECCION MENSUAL



- MONTE
- - - - - NOROESTE
- · - · - ESTE
- · - · - NOROESTE
- · · · · CALMAS

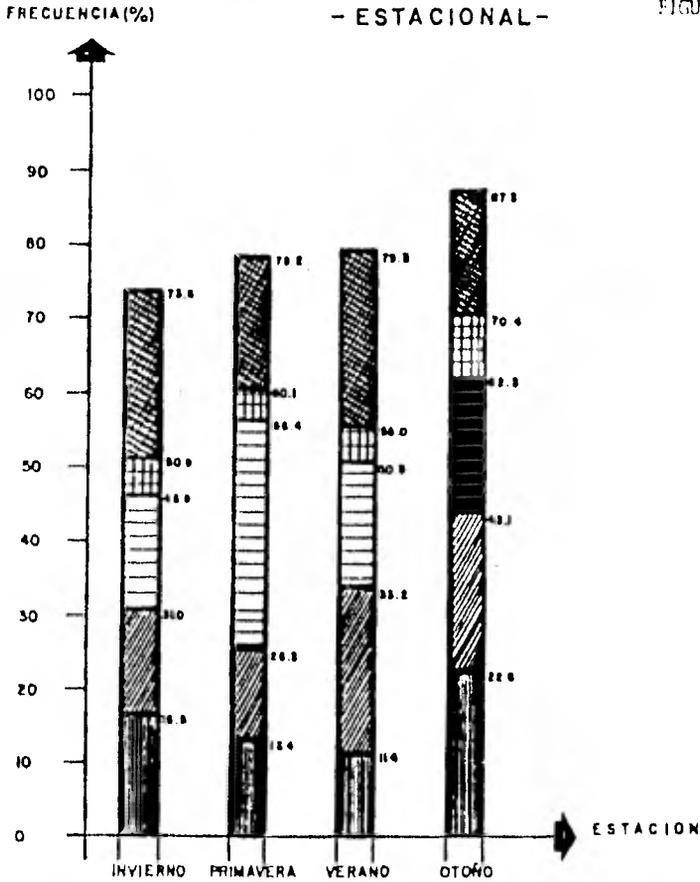
NOTA:  
• EN EL ANALISIS SE AGRUPO OLEAJE LOCAL Y DISTANTE

FUENTE:  
• SEA AND SWELL, ATLAS

FIGURA V1.2

**A N A L I S I S D E O L E A J E .**  
**FRECUENCIA ACUMULATIVA POR**  
**DIRECCION**  
**- ESTACIONAL -**

FIGURA VI. 7



NORTE  
 NORESTE  
 ESTE  
 NOROESTE  
 CALMAS

**NOTAS:**

- EL 100% LO COMPLETAN LAS OTRAS DIRECCIONES
- EN EL ANALISIS SE AGRUPO EL OLEAJE LOCAL Y DISTANTE

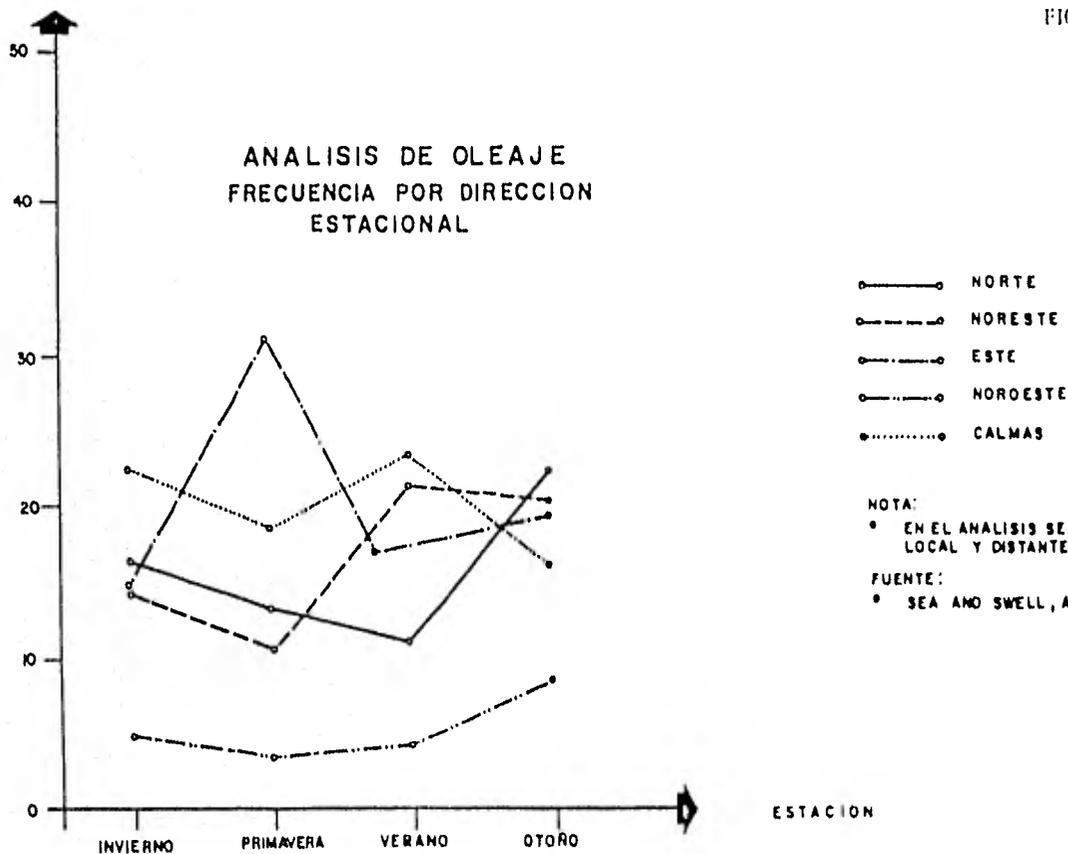
**FUENTE:**

• SEA AND SWELL, ATLAS

FRECUENCIA (%)

FIGURA VI. 4

ANALISIS DE OLAJE  
FRECUENCIA POR DIRECCION  
ESTACIONAL



NOTA:

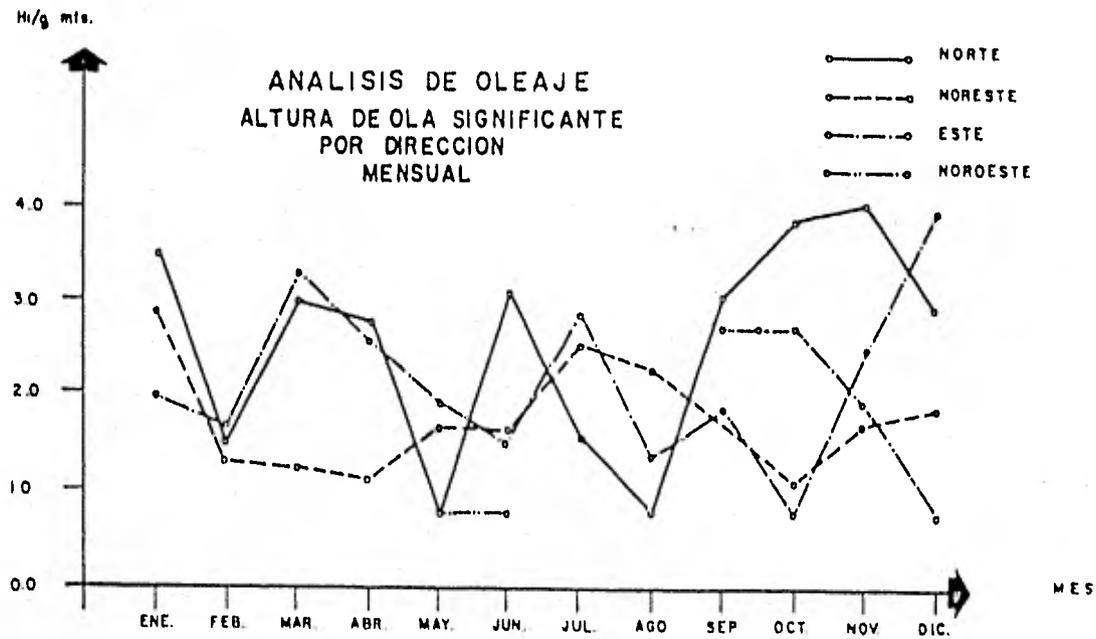
• EN EL ANALISIS SE ABRUPO OLAJE LOCAL Y DISTANTE

FUENTE:

• SEA AND SWELL, ATLAS

ESTACION

FIGURA VI.5



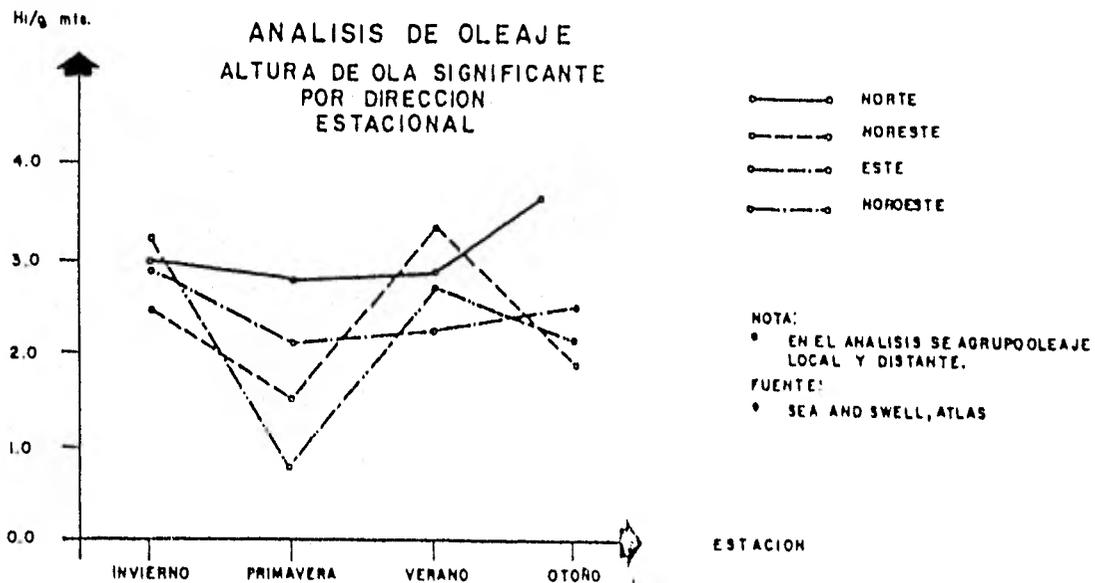
NOTA:

• EN EL ANÁLISIS SE AGRUPO OLAJE LOCAL Y DISTANTE

FUENTE:

• SEA AND SWELL, ATLAS

FIGURA VI. 6



RANGO PARA PERIODOS EN SEGUNDOS	ALTURAS		
	EN	METROS	
10-11	1.50	6.50	13.00
12-13	2.00	7.00	14.00
14-15	2.50	7.50	15.00
16-17	3.00	8.00	16.00
18-19	3.50	8.50	17.00
20-21	4.00	9.00	18.00
>21	4.50	9.50	19.00

En esta área se realizaron 6,352 observaciones, agrupadas de la siguiente manera:

PERIODO	No. OBSERVACIONES
Diciembre-Febrero (Invierno)	1,448
Marzo - Mayo (Primavera)	1,585
Junio - Agosto (Verano)	1,634
Septiembre-Noviembre (Otoño)	1,685
Anual	6,352

Los porcentajes de acción por dirección, período y altura se muestran en los cuadros VI-13 a VI-22.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIDDO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL INVIERNO

NUM. TOTAL OBS. EN EL PERIODO DE

ANALISIS:

1945

NUM. OBS. MULTIPMINADAS

275

DIRECCION: NORIE

PERIODO Y ALTURA	2.5	0.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	1.247	0.074								0.074	1.364
0.5	1.860	0.137									2.009
1.0	2.346	0.412	0.137	0.074	0.074				0.074		5.107
1.5	0.412	0.623	0.137								1.172
2.0	0.211	0.349	0.349								0.899
2.5	0.074	0.137	0.211	0.137							0.549
3.0		0.074	0.211	0.137							0.412
3.5	0.074	0.137	0.211								0.412
4.0			0.074	0.211							0.275
4.5			0.074		0.074						0.137
5.0			0.074	0.074							0.137
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5				0.074							0.074
8.0											
TOTALES	6.213	1.934	1.448	0.687	0.137				0.074	0.074	10.563

DIRECCION: NORESTE

0.25	1.310										1.306
0.5	2.380	0.141		0.070						0.141	2.818
1.0	3.452	1.860	0.070	0.070			0.070				5.523
1.5	0.480	1.170	0.070								1.723
2.0	0.070	0.409									0.480
2.5	0.141		0.352	0.141							0.620
3.0			0.211		0.211						0.423
3.5			0.141	0.070							0.211
4.0				0.070							0.070
4.5			0.070	0.282							0.352
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0		0.070									0.070
7.5			0.070								0.070
8.0											
TOTALES	7.932	3.663	1.310	0.760	0.211		0.070			0.141	14.088

FUENTE: OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL INVIERNO

NUM. TOTAL OBS. EN EL PERIODO DE ANALISIS: 1448

DIRECCION: ESTE

NUM. OBS. INDEFINIDAS: 225

PERIODO y ALTURA	2.5	0.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	0.137										0.137
0.5	1.036	0.070									0.106
1.0	0.623	0.413									1.036
1.5	0.206	0.413									0.623
2.0		0.137									0.137
2.5											0.070
3.0				0.070							0.070
3.5											
4.0											
4.5											
5.0											
5.5	0.070										0.070
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	2.071	1.036		0.070							3.177

DIRECCION: NOROESTE.

0.25	3.801	0.078						0.078	0.078	0.078	4.056
0.5	4.218	0.833	0.078		0.078		0.078		0.078	0.078	5.254
1.0	5.260	1.666	0.286		0.130						7.472
1.5	1.588	1.666	0.208		0.130						5.593
2.0	0.495	1.666	0.417	0.078	0.078						2.682
2.5		0.625	0.417	0.078	0.078						1.172
3.0	0.078	0.338	0.417	0.078	0.078						0.963
3.5		0.286	0.078								0.338
4.0			0.130								0.078
4.5			0.130	0.078							0.208
5.0				0.078							0.078
5.5											
6.0											
6.5											
7.0			0.078								0.078
7.5											
8.0			0.078								0.078
TOTALES	15.413	7.082	2.291	0.338	0.547		0.078		0.078	0.208	24.036

FUENTE: OCEAN WAVES

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL PRIMAVERA

NUM TOTAL OBS EN EL PERIODO DE

1585

DIRECCION: NORTE

ANALISIS:

NUM OBS INDETERMINADAS: 254

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	1.071										1.071
0.5	1.452	0.127	0.064							0.127	1.765
1.0	0.694	0.254	0.127	0.064							1.154
1.5	0.064	0.503	0.254								0.821
2.0	0.064		0.064								0.127
2.5		0.127	0.064								0.191
3.0											
3.5											
4.0				0.064							0.064
4.5											
5.0											
5.5											
6.0			0.064								0.064
6.5			0.064								0.064
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	3.344	1.007	0.694	0.127						0.127	5.300

DIRECCION: NORESTE.

0.25	0.821								0.063		0.884
0.5	1.831	0.250								0.125	2.206
1.0	1.518	0.821	0.250	0.063							2.652
1.5	0.696	0.821	0.063	0.063							1.643
2.0	0.063	0.063	0.125								0.250
2.5	0.063			0.063							0.125
3.0											
3.5											
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5			0.063								0.063
8.0											
TOTALES	4.983	1.956	0.500	0.188					0.063	0.125	7.823

FUENTE: OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL PRIMAVERA

MUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE

1585

DIRECCION: ESTE

ANALISIS:

MUM OBS. INDETERMINADAS: 254

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	1.112									0.110	0.222
0.5	1.771		0.110	0.110							1.991
1.0	0.220	0.776	0.329								2.327
1.5	0.220	0.556	0.446	0.110							1.332
2.0	0.220	0.220									0.440
2.5											
3.0											
3.5											
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	4.545	1.552	0.886	0.220						0.110	7.319

DIRECCION: NOROESTE

0.25	3.083									0.056	3.139
0.5	4.926	0.639	0.056							0.432	0.054
1.0	3.534	1.259	0.244	0.056					0.056	0.056	5.245
1.5	0.695	1.072	0.319	0.188	0.056						2.331
2.0	0.188	0.376	0.319		0.132	0.056					1.071
2.5	0.056	0.132	0.132	0.056			0.132				0.507
3.0		0.056	0.056			0.056					0.188
3.5				0.056			0.056				0.131
4.0					0.056						0.056
4.5											
5.0		0.056									0.056
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	12.503	3.610	1.128	0.376	0.244	1.316	0.188		0.056	0.564	18.801

FUENTE: OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL VERANO

MUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE

1634

DIRECCION: NORTE

ANALISIS:

MUM OBS. MULTIPUNTAJAS: 184

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	0.675										0.147
0.5	1.345	0.059									1.409
1.0	0.858	0.243									1.101
1.5	0.243	0.124	0.124	0.243							0.734
2.0	0.124	0.124	0.124								0.367
2.5		0.124									0.124
3.0		0.124									0.124
3.5											
4.0											
4.5							0.060				0.060
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	3.245	0.798	0.243	0.243			0.060				4.599

DIRECCION: NORESTE

0.25	1.345	0.056								0.126	1.527
0.5	2.452	0.308	0.182								2.945
1.0	2.564	2.144	0.056		0.056					0.126	4.961
1.5	0.799	1.654	0.182	0.308	0.126	0.056					3.125
2.0	0.182	0.364	0.238		0.056						0.855
2.5	0.056	0.182	0.056								0.308
3.0			0.056								0.056
3.5											0.056
4.0											
4.5				0.056	0.056						0.126
5.0											
5.5											
6.0											
6.5		0.056									0.056
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	7.400	4.793	0.799	0.364	0.364	0.056				0.252	14.015

FUENTE : OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL VERANO

NUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE ANALISIS: 1534

DIRECCION: ESTE

NUM. OBS INDETERMINADAS: 184

PERIODO - ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	0.917										0.917
0.5	1.348	0.065	0.187							0.065	1.648
1.0	1.470	0.750	0.065	0.065							2.350
1.5	1.282	0.985	0.243								2.509
2.0	0.187	0.243	0.309	0.243							0.982
2.5	0.065	0.122	0.187								0.374
3.0	0.065		0.122								0.187
3.5			0.122		0.065						0.187
4.0		0.065	0.065								0.132
4.5											
5.0											
5.5		0.065									0.065
6.0											
6.5					0.065						0.065
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	5.328	2.266	1.283	0.309	0.122					0.065	9.367

DIRECCION: NOROESTE

0.25	1.098										1.098
0.5	2.264	0.125								0.058	2.447
1.0	1.656	0.616	0.125							0.058	2.447
1.5	0.308	0.799	0.125			0.058					1.282
2.0	0.183	0.491	0.125		0.058						0.857
2.5		0.125	0.058								0.183
3.0											
3.5											
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	5.518	2.139	0.424		0.058	0.058				0.117	8.323

FUENTE : Ocean Waves

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL (CIOS)

NUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE 1685

DIRECCION: SURTE

ANALISIS: NUM OBS DETERMINADAS 165

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25											0.649
0.5	0.649										1.306
1.0	1.184	0.061								0.061	2.016
1.5	1.184	0.595	0.122		0.061				0.061		0.893
2.0	0.412	0.297	0.176								0.885
2.5	0.297	0.473		0.061							0.831
3.0		0.122	0.176	0.061							0.359
3.5		0.237	0.122	0.176							0.535
4.0											
4.5		0.122									0.122
5.0											
5.5											
6.0			0.061								0.061
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	3.741	1.901	0.649	0.298	0.061				0.061	0.061	6.372

DIRECCION: NORESTE

0.25	1.068								0.059	0.059	1.187
0.5	1.899	0.178	0.059							1.187	2.255
1.0	3.325	0.949	0.237		0.059					0.059	4.629
1.5	1.187	1.009	0.296								2.492
2.0	0.296	0.178	0.237								0.712
2.5		0.178	0.059	0.059	0.059						0.356
3.0		0.059									0.059
3.5											0.059
4.0		0.059									0.059
4.5		0.059									0.059
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTALES	7.774								0.059	0.237	11.840

FUENTE: Ocean Waves

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ESTACIONAL OTORO

NUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE ANALISIS:

1655

DIRECCION: ESTE

NUM. OBS. INDETERMINADAS: 163

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTAL ES
0.25	0.477										0.477
0.5	0.247	0.061								0.061	1.070
1.0	1.723	0.532	0.061	0.061							2.377
1.5	0.715	0.476	0.299	0.061							1.540
2.0	0.061	0.116	0.177								0.354
2.5		0.061									0.061
3.0		0.061									0.061
3.5		0.061									0.116
4.0											0.061
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTAL ES	5.918	1.363	0.654	0.116						0.061	6.112

DIRECCION: NOROESTE

PERIODO Y ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTAL ES
0.25	3.503	0.058					0.058				3.655
0.5	2.198	0.176	0.058	0.058						0.058	2.550
1.0	2.550	0.835	0.058								3.444
1.5	1.599	1.363	0.410	0.117	0.058						3.562
2.0	0.058	0.234		0.176							0.469
2.5	0.117	0.176	0.176								0.469
3.0		0.176	0.117	0.058	0.058						0.410
3.5		0.117									0.117
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
TOTAL ES	10.026	3.151	0.835	0.410	0.117		0.058			0.058	14.658

FUENTE: OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ANUAL DIRECCION: NORTE NUM. TOTAL OBS. EN EL PERIODO DE ANALISIS: 6352  
 NUM. OBS. DETERMINADAS: 854

PERIODO DE ALTURA	2.5	6.5	8.5	10.5	12.5	14.5	16.5	18.5	20.5	>21	TOTALES
0.25	0.899	0.013								0.013	0.925
0.5	1.449	0.094	0.013							0.012	1.603
1.0	1.241	0.375	0.094	0.034	0.034				0.034		1.811
1.5	0.262	0.375	0.174	0.060							1.899
2.0	0.174	0.235	0.127	0.013							0.550
2.5	0.013	0.127	0.107	0.047							0.302
3.0		0.107	0.080	0.080							0.268
3.5	0.013	0.034	0.047								0.094
4.0			0.013	0.060							0.080
4.5		0.034	0.013		0.013		0.013				0.080
5.0			0.013	0.013							0.026
5.5											
6.0			0.034								0.034
6.5			0.013								0.013
7.0											
7.5				0.013							0.013
8.0									0.034	0.060	0.206
TOTALES	4.077	1.402	0.744	0.329	0.047		0.013		0.034	0.060	6.706

DIRECCION: NORESTE

0.25	1.132	0.012							0.036	0.048	1.239
0.5	2.157	0.215	0.060	0.012						0.025	2.502
1.0	2.705	1.430	0.155	0.036	0.036		0.012			0.048	4.433
1.5	0.798	1.168	0.155	0.025	0.036	0.012					2.276
2.0	0.155	0.250	0.238	0.036	0.036						0.703
2.5	0.060	0.095	0.107	0.060							0.346
3.0		0.012	0.60								0.025
3.5			0.048	0.012	0.036						0.083
4.0		0.012		0.012							0.036
4.5		0.012		0.048	0.036						0.083
5.0											
5.5											
6.0											
6.5		0.012									0.012
7.0		0.012									0.012
7.5			0.036								0.036
8.0											
TOTALES	7.019	3.255	0.882	0.354	0.179	0.012	0.012		0.036	0.191	11.917

FUENTE: OCEAN WAVES.

PORCENTAJES DE ACCION POR DIRECCION, PERIODO Y ALTURA

ANALISIS: ANUAL

NUM. TOTAL OBS EN EL PERIODO DE

6552

DIRECCION: ESTE

ANALISIS:

NUM. OBS. INDETERMINADAS:

854

PERIODO Y ALTURA	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	TOTALES
0.25	0.550									0.017 0.568
0.5	1.189	0.046	0.064	0.017						0.029 1.246
1.0	1.147	0.533	0.081	0.029						1.796
1.5	0.597	0.550	0.203	0.029						1.385
2.0	0.093	0.156	0.127	0.064						0.440
2.5	0.017	0.046	0.046							0.110
3.0	0.017	0.017	0.029	0.017						0.081
3.5		0.017	0.046		0.017					0.081
4.0		0.017	0.029							0.046
4.5										
5.0										
5.5	0.017	0.017								0.029
6.0										
6.5					0.017					0.017
7.0										
7.5										
8.0										
TOTALES	3.53	1.402	0.631	0.156	0.034					0.046 5.793

DIRECCION: NOROESTE

PERIODO Y ALTURA	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	TOTALES
0.25	2.848	0.033						0.017		0.017 2.948
0.5	3.348	0.433	0.050	0.017	0.017					0.150 3.997
1.0	3.181	1.066	0.167	0.017	0.033			0.017	0.017	0.050 4.530
1.5	1.033	1.216	0.266	0.083	0.067	0.017				2.682
2.0	0.217	0.666	0.200	0.067	0.067	0.017				1.335
2.5	0.050	0.250	0.183	0.033	0.017		0.033			0.566
3.0	0.017	0.150	0.150	0.053	0.033	0.017				0.383
3.5		0.100	0.017	0.017			0.017			0.150
4.0			0.033		0.017					0.050
4.5			0.033	0.017						0.050
5.0		0.017		0.017						0.033
5.5										
6.0										
6.5			0.017							0.017
7.0										
7.5										
8.0			0.017							0.017
TOTALES	10.710	3.896	1.153	0.283	0.233	0.050	0.083		0.033	0.233 16.656

FUENTE: OCEAN WAVES.

Con los anteriores porcentajes y procediendo de manera similar al caso del Sea and Swell, se obtienen las alturas y períodos significantes para cada dirección, presentándose los porcentajes de acción de éstos con respecto al total de todas las direcciones, cuadro VI-23, y considerando únicamente a las que inciden en la costa bajo estudio, cuadro VI-24, todo lo anterior por estaciones y anual.

#### VI.1.1.3 OTRAS FUENTES

Existen, como se dijo, otras firmas que proporcionan análisis de oleaje para distintas zonas. Tal es el caso de A.H. Glenn and Associates de Nueva Orleans, Estados Unidos, el cual realizó un análisis de oleaje para el sitio de ejemplo, bajo el nombre de "Normal wave and tide conditions and storm wind, tide, and wave characteristics: Aproximatlely 18°17'N, 94° 35'W, 82 foot mean low water depth offshore Coatzacoalcos, México".

Para propósitos de comparación, el procesamiento anterior se muestra en los cuadros VI-25 al VI-28, que muestran datos mensuales y anual de los porcentajes de ocu-

ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE, PERIODO SIGNIFICANTE Y PORCENTAJE  
DE ACCION POR DIRECCION, DATOS DEL OCEAN WAVES.  
Hs, en metros; Ts, en segundos.

CUADRO VI-23

Dirección Análisis	tiempo en horas	NORTE			NORESTE			ESTE			NOROESTE			otras	calmas	total
		%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts			
Invierno	21.60	10.57	2.75	7.24	14.09	2.36	6.92	3.18	1.78	5.24	26.04	2.23	6.49	27.27	18.85	100
Primavera	22.08	5.30	2.04	6.88	7.82	1.55	6.43	4.16	1.35	6.60	18.80	1.65	7.25	49.16	14.76	100
Verano	22.08	4.59	1.91	5.85	14.01	1.69	6.86	9.36	2.19	6.70	8.32	1.54	6.00	52.46	11.26	100
Otoño	21.84	6.77	2.40	6.89	11.87	1.65	6.40	6.11	1.70	6.14	14.66	1.70	6.28	50.96	9.67	100
Anual	87.60	6.71	2.40	6.86	11.92	1.82	6.73	5.79	1.87	6.35	16.66	1.87	5.64	45.48	13.44	100

ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE, PERIODO SIGNIFICANTE Y PORCENTAJE  
DE ACCION POR DIRECCION, BAJOS DEL OCEAN WAVES.  
Hs, en metros; Ts, en segundos.

CUADRO VI-24

Dirección Análisis	tiempo en horas	NORTE			NOROCCIDENTE			ESTE			SUROCCIDENTE			otras	calmas	total
		%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts	%Ac	Hs	Ts			
Invierno	21.60	14.53	2.75	7.24	19.37	2.36	6.92	4.37	1.78	5.24	35.80	2.23	6.49	0	25.93	100
Primavera	22.08	10.43	2.04	6.88	15.38	1.55	6.43	8.19	1.35	6.60	36.97	1.65	7.25	0	29.03	100
Verano	22.08	9.66	1.91	5.85	29.47	1.69	6.86	19.69	2.19	6.70	17.50	1.54	6.00	0	23.68	100
Otoño	21.84	13.79	2.40	6.89	24.18	1.65	6.40	12.45	1.70	6.14	29.87	1.70	6.28	0	19.71	100
Anual	87.60	12.30	2.40	6.86	21.86	1.82	6.73	10.63	1.87	6.35	30.55	1.87	5.64	0	24.66	100

Nota:

$$N + NE + E + NW + C = 100\%$$

ANALISIS DE OLEAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION

CUADRO VI-25

PERIODO	RANGO	MARCA CLASE	DIRECCION					CALMAS	TOTAL
			NORTE	NORESTE	ESTE	NORDESSE	OTRAS		
E N E R O	0 - 0.58	0.29	3.5	2.1	2.0	2.9	2.4	0	13.8
	0.61 - 1.19	0.90	10.2	6.2	6.2	8.2	1.2	0	32.0
	1.22 - 1.80	1.51	7.0	4.4	4.2	5.6	0.6	0	21.8
	1.83 - 2.41	2.12	4.8	3.1	2.6	3.9	0.1	0	14.5
	2.44 - 3.02	2.73	3.1	2.0	1.3	2.5	0	0	8.9
	3.05 - 4.58	3.81	3.0	1.0	0.5	2.4	0	0	7.8
	4.58 - 6.1	5.34	0.5	0.2	0.0	0.5	0	0	1.2
	Total		32.1	19.2	17.7	26.0	4.3	0	100
F E B R E R O	0 - 0.58	0.29	2.9	2.7	3.5	2.3	2.7	0	14.1
	0.61 - 1.19	0.90	9.3	7.2	7.3	7.1	1.4	0	32.3
	1.22 - 1.80	1.51	6.5	4.9	4.7	5.2	0.7	0	22.0
	1.83 - 2.41	2.12	4.5	3.4	2.7	3.6	0.1	0	14.3
	2.44 - 3.02	2.73	2.9	2.2	1.3	2.3	0	0	8.7
	3.05 - 4.58	3.81	2.7	2.2	0.8	2.2	0	0	7.0
	4.58 - 6.1	5.34	0.4	0.2	0.0	0.4	0	0	1.0
	Total		29.2	22.8	20.0	25.1	4.9	0	100
M A R Z O	0 - 0.58	0.29	2.6	3.1	4.4	2.1	2.9	0	15.1
	0.61 - 1.19	0.90	9.0	8.9	8.2	6.7	1.6	0	34.4
	1.22 - 1.80	1.51	5.9	5.8	5.5	4.4	0.8	0	22.4
	1.83 - 2.41	2.12	4.1	3.9	3.0	2.9	0.1	0	14.0
	2.44 - 3.02	2.73	2.6	2.4	1.2	1.9	0	0	8.1
	3.05 - 4.58	3.81	2.0	1.7	0.4	1.4	0	0	5.5
	4.58 - 6.1	5.34	0.2	0.1	0.0	0.2	0	0	0.5
	Total		36.4	35.9	22.7	19.6	5.4	0	100
A B R I L	0 - 0.58	0.29	2.6	4.5	5.2	1.8	3.1	0	17.2
	0.61 - 1.19	0.90	9.1	11.2	10.5	5.4	1.7	0	37.9
	1.22 - 1.80	1.51	5.4	6.8	6.4	3.2	0.8	0	22.6
	1.83 - 2.41	2.12	3.5	4.0	3.2	2.1	0.1	0	12.9
	2.44 - 3.02	2.73	2.0	2.0	1.0	1.1	0	0	6.1
	3.05 - 4.58	3.81	1.2	1.2	0.2	0.6	0	0	3.2
	4.58 - 6.1	5.34	0.1	0	0	0	0	0	0.1
	Total		23.9	29.7	26.5	14.2	5.7	0	100
M A Y O	0 - 0.58	0.29	3.4	5.5	6.2	1.6	3.1	0	20.3
	0.61 - 1.19	0.90	9.3	14.2	12.7	5.9	1.6	0	41.7
	1.22 - 1.80	1.51	5.1	7.8	6.6	2.1	0.7	0	22.3
	1.83 - 2.41	2.12	2.7	4.0	2.8	1.1	0.1	0	10.7
	2.44 - 3.02	2.73	1.1	1.8	0.6	0.3	0	0	3.8
	3.05 - 4.58	3.81	0.5	0.6	0	0.1	0	0	1.2
	4.58 - 6.1	5.34	0	0	0	0	0	0	0
	Total		22.1	33.9	25.4	9.1	5.5	0	100

FUENTE: GLENN

**ANALISIS DE OLEAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION**

CUADRO VI-26

PERIODO	RANGO	MARCA CLASE	DIRECCION					CALMAS	TOTAL
			NORTE	NOROCCIDENTE	ESTE	SUROCCIDENTE	OTRAS		
J U N I O	0 - 0.58	0.29	4.0	7.4	8.2	1.5	3.1	0	24.2
	0.61 - 1.19	0.90	9.7	16.8	14.7	3.1	1.5	0	45.8
	1.22 - 1.80	1.51	4.6	7.9	6.2	1.4	0.6	0	20.7
	1.83 - 2.41	2.12	1.6	2.9	1.8	0.4	0.1	0	6.8
	2.44 - 3.02	2.73	0.7	0.9	0.2	0.1	0.0	0	1.9
	3.05 - 4.58	3.81	0.3	0.3	0	0	0	0	0.6
	4.58 - 6.1	5.34	0	0	0	0	0	0	0
	Total		20.9	36.2	31.1	6.5	5.9	0	100
J U L I O	0 - 0.58	0.29	4.5	8.6	9.7	1.3	3.1	0	27.2
	0.61 - 1.19	0.90	10.2	18.7	15.4	2.5	1.3	0	48.1
	1.22 - 1.80	1.51	4	7.4	5.7	0.9	0.5	0	18.5
	1.83 - 2.41	2.12	1.2	2.2	1.3	0.2	0	0	4.9
	2.44 - 3.02	2.73	0.3	0.6	0.1	0.1	0	0	1.1
	3.05 - 4.58	3.81	0	0.1	0	0	0.1	0	0.2
	4.58 - 6.1	5.34	0	0	0	0	0	0	0
	Total		20.2	37.6	32.2	5.0	5.0	0	100
A G O S T O	0 - 0.58	0.29	4.7	7.7	8.3	2.3	3.0	0	26
	0.61 - 1.19	0.90	10.1	16.2	14.0	4.4	1.3	0	46
	1.22 - 1.80	1.51	4.6	7.3	5.8	1.9	0.4	0	20
	1.83 - 2.41	2.12	1.4	2.3	1.5	0.5	0	0	5.7
	2.44 - 3.02	2.73	0.5	0.8	0.2	0.2	0	0	1.7
	3.05 - 4.58	3.81	0.3	0.3	0	0	0	0	0.6
	4.58 - 6.1	5.34	0	0	0	0	0	0	0
	Total		21.6	34.6	29.8	9.5	4.7	0	100
S E P	0 - 0.58	0.29	4.7	5.2	6.1	3.1	2.1	0	21.2
	0.61 - 1.19	0.90	10.1	11	10.4	6.5	0.8	0	38.8
	1.22 - 1.80	1.51	5.8	6.5	5.7	3.8	0.3	0	22.1
	1.83 - 2.41	2.12	2.9	3.2	2.4	1.9	0	0	10.4
	2.44 - 3.02	2.73	1.5	1.6	0.8	0.8	0	0	4.7
	3.05 - 4.58	3.81	0.9	1.0	0.2	0.5	0	0	2.6
	4.58 - 6.1	5.34	0.1	0.1	0	0	0	0	0.2
	Total		26	28.6	25.6	16.6	3.2	0	100
O C T U B R E	0 - 0.58	0.29	4.3	4.5	5.0	3.1	1.9	0	18.8
	0.61 - 1.19	0.90	10.9	10.1	9.1	7.6	0.7	0	38.4
	1.22 - 1.80	1.51	7.2	6.6	5.5	5.0	0.2	0	24.5
	1.83 - 2.41	2.12	3.3	3.1	2.2	2.2	0	0	10.8
	2.44 - 3.02	2.73	1.6	1.5	0.7	1.2	0	0	5.0
	3.05 - 4.58	3.81	0.9	0.8	0.1	0.6	0	0	2.4
	4.58 - 6.1	5.34	0.1	0	0	0	0	0	0.1
	Total		28.3	26.6	22.6	19.7	2.8	0	100

FUENTE: GLENN

ANALISIS DE OLEAJE  
POR RANGOS DE ALTURA Y  
DIRECCION

CUADRO VI-27

PERIODO	RANGO	MARCA CLASE	DIRECCION					CALMAS	TOTAL
			NORTE	NOROESTE	ESTE	SUROESTE	OTRAS		
NOV	0 - 0.58	0.29	3.4	3.0	3.3	2.7	1.0	0	14.3
	0.61 - 1.19	0.90	10.1	7.2	6.7	7.7	0.8	0	32.5
	1.22 - 1.80	1.51	7.1	4.8	4.5	5.5	0.4	0	22.1
	1.83 - 2.41	2.12	4.6	3.3	2.8	3.5	0	0	14.2
	2.44 - 3.02	2.73	3.1	2.0	1.5	2.3	0	0	8.7
	3.05 - 4.58	3.81	2.9	1.6	0.5	2.1	0	0	5.5
	4.58 - 6.1	5.34	0.4	0.2	0	0.3	0	0	0.9
	Total		31.6	22.5	19.1	23.9	3.1	0	100
DIC	0 - 0.58	0.29	3.6	2.0	2.8	3.0	2.2	0	15.6
	0.61 - 1.19	0.90	10.7	5.9	5.2	8.6	1.0	0	31.9
	1.22 - 1.80	1.51	7.3	4.1	3.9	5.9	0.5	0	21.7
	1.83 - 2.41	2.12	5.0	3.0	2.5	4.1	0	0	14.6
	2.44 - 3.02	2.73	3.2	2.0	1.3	2.5	0	0	9.0
	3.05 - 4.58	3.81	3.1	1.9	0.5	2.4	0	0	8.0
	4.58 - 6.1	5.34	0.6	0.2	0	0.5	0	0	1.3
	Total		33.5	19.1	16.2	27.0	3.7	0	100
A N U A L	0 - 0.58	0.29	3.7	4.7	5.5	2.3	2.6	0	18.8
	0.61 - 1.19	0.90	9.9	11.0	10.1	6.0	1.3	0	38.3
	1.22 - 1.80	1.51	5.0	6.2	5.5	3.7	0.5	0	21.9
	1.83 - 2.41	2.12	3.2	3.2	2.4	2.2	0.1	0	11.1
	2.44 - 3.02	2.73	1.9	1.7	0.8	1.3	0	0	5.7
	3.05 - 4.58	3.81	1.5	1.2	0.2	1.0	0	0	3.9
	4.58 - 6.1	5.34	0.2	0.1	0	0.1	0	0	0.4
	Total		26.3	28.1	24.8	19.6	4.5	0	100

FUENTE: GLENN

**ALTURAS DE OLA SIGNIFICANTE  
Y PORCENTAJE DE ACCION POR  
DIRECCION**

CIADRO VI-28

PERIODO	NORTE		NORESTE		ESTE		NOROESTE		OTRAS	CALMAS	TOTAL
	% ACCION	HE M	% ACCION								
Enero	32.1	3.67	19.9	3.59	17.7	2.55	26.0	3.72	4.3	0	100
Feb.	29.2	3.63	22.8	3.57	20.0	2.45	23.1	3.71	4.9	0	100
Marzo	26.4	3.36	25.9	3.17	22.7	2.50	19.6	3.37	5.4	0	100
Abril	23.9	2.98	29.7	2.60	26.5	2.05	14.2	2.76	5.7	0	100
Mayo	22.1	2.34	33.9	2.27	29.4	1.76	9.1	2.08	5.5	0	100
Junio	20.9	2.04	36.2	1.90	31.1	1.56	6.5	1.63	5.3	0	100
Julio	20.2	1.61	37.6	1.66	32.2	1.46	5.0	1.55	5.0	0	100
Agos.	21.4	1.95	34.4	1.85	30.2	1.54	9.3	1.63	4.7	0	100
Sep.	26.0	2.64	28.6	2.63	25.6	1.95	16.6	2.32	3.2	0	100
Oct.	28.3	2.60	26.6	2.48	22.6	1.91	19.7	2.49	2.8	0	100
Nov.	31.6	3.60	22.3	3.42	19.1	2.50	23.9	3.56	3.1	0	100
Dic.	33.5	3.70	19.1	3.63	16.7	2.59	27.0	3.68	3.7	0	100
Anual	26.3	3.09	28.1	2.76	24.5	1.32	16.6	3.12	4.5	0	100

FUENTE : GLENN

rrencia de 7 diferentes rangos de altura, por direcciones.

### VI.1.2 MEDICIONES EN EL SITIO

Para las mediciones en el sitio, se instaló un olómetro Inter-Ocean modelo 7500 WG de septiembre de 1980 a agosto de 1981.

Como se mencionó en el capítulo V, la selección del programa de grabación determinará la duración del cassette en el que se registrarán los datos.

Para este caso, se seleccionó un programa que permitiera obtener registros de trenes de olas de un mínimo de 100 de ellas.

Para lograr lo anterior y tener una buena definición -- del perfil del oleaje, se le dió al aparato una programación para que tomara un dato de la altura de la superficie del agua cada segundo, durante 17.07 minutos, repitiéndose esta operación cada cuatro horas.

La programación, por tanto, resultó como sigue:

- Scan Rate Selection.- 1 segundo
- Data Scan Selection.- 16 grupos
- Repetition Rate Selection.- 4 horas
- Data Sets or Groups.- Grupos

Como se vió antes, los grupos están constituidos por 64 lecturas; si cada lectura se toma con un intervalo de 1 segundo, resulta que el aparato estará registrando du -  
rante

$$64 \times 16 = 1024 \text{ seg.} = 17.07 \text{ minutos}$$

tiempo suficiente para registrar 100 olas con período -  
medio de 10.2 seg, período que está por encima de los -  
períodos medios que se presentan en el sitio, los cu -  
les en general son más bajos.

En la cinta se graba cada dato en 16 bits, dejando un -  
espacio de 2 bits entre cada uno, y un espacio de 16 bi -  
ts entre cada grupo de 64 lecturas.

Como la cinta tiene una longitud de 300 pies y el equi -  
po graba con una densidad de 615 bits por pulgada, la -  
capacidad de almacenaje de información en la cinta es -  
de:

$$\frac{(300)(12)(615)}{(16)(64) + (2)(64) + 16} = 1,895 \text{ grupos}$$

La duración del cassette con la programación elegida resulta

$$\frac{1,895}{16} (4) = 473 \text{ horas} = 19.74 \text{ días}$$

restando el 5% de la cinta, por posibles defectos de fabricación, resulta finalmente

$$0.95(19.74) = 18.76 \text{ días.}$$

Al proporcionarnos el olómetro alturas de la superficie del mar en forma más o menos continua, cada segundo, se tendrá el perfil del oleaje, pudiendo, en forma simplista, calcular el período del oleaje, es decir, el tiempo necesario para que se presenten dos crestas consecutivas, así como las demás características, o bien, podría realizarse un análisis espectral aplicando las fórmulas descritas en el capítulo III.

El procesamiento anterior, debido al gran número de datos, se realizó por computadora. Un ejemplo de parte -- del procesamiento de un cassette se muestra en los cuadros VI-29 a VI-31.

Finalmente, se obtuvieron el cuadro VI-32 y las figuras



CUADRO VI-30

\*\*\*\*\*  
 \* PROCESAMIENTO DE DATOS OCEANOGRÁFICOS \*  
 \* PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION \*  
 \* COATZACOALCOS VERACRUZ \*  
 \*\*\*\*\*

FECHA DE PROCESAMIENTO: 1981/06/09  
 OLOGRAFO MODELO: WG/7500  
 NUMERO DE SERIE: 3093789  
 CASSETTE NUMERO: 1  
 FECHA DE ENCENDIDO: 1980/09/04-10:40  
 FECHA DE APAGADO: 1980/09/21-18:58  
 PERIODO DE GRABACION: 4 HORAS  
 PERIODO DE REGISTRO: 1 SEG.  
 NUMERO DE GRUPOS: 16

\*\*\*\*\* CARACTERISTICAS DEL OLEAJE \*\*\*\*\*

NUM. BLOCK	NUM. OLAS	FECHA	HORA	AL T U R A				P E R I O D O S			
				MEDIA	MAX.	MIN.	SIG.	MEDIO	MAX.	MIN.	SIG.
!!!!	EL BLOCK #	3	CONTIENE DATOS NO CONFIABLES					NO SE PROCESA	!!!!		
4	173	1980/9/4	18:39	.466	2.519	.035	.737	9.20	9.00	6.74	
5	184	1980/9/4	18:39	.386	1.033	.054	.594	9.69	9.00	6.47	
6	183	1980/9/4	21:40	.339	1.592	.050	.556	9.56	9.00	6.97	
7	187	1980/9/4	6:39	.224	1.781	.033	.348	8.97	9.00	6.91	
8	196	1980/9/4	10:40	.247	1.143	.024	.384	16.56	9.00	6.91	
9	204	1980/9/4	14:40	.213	1.724	.024	.352	14.23	9.00	6.91	
10	214	1980/9/4	18:39	.361	1.094	.025	.446	12.50	9.00	6.91	
11	217	1980/9/4	22:39	.364	1.552	.031	.617	8.32	9.00	6.91	
12	209	1980/9/6	2:40	.311	1.380	.043	.482	4.77	9.00	6.91	
13	202	1980/9/6	6:39	.289	2.811	.033	.515	4.68	9.00	6.91	
14	201	1980/9/6	10:40	.271	1.124	.033	.443	5.06	9.00	6.44	
15	197	1980/9/6	14:40	.231	1.715	.026	.362	12.24	9.00	6.97	
16	199	1980/9/6	18:39	.244	1.226	.022	.393	13.94	9.00	6.91	
17	196	1980/9/6	22:39	.328	1.788	.013	.567	10.12	9.00	6.91	
18	190	1980/9/7	2:40	.338	1.440	.048	.596	10.67	9.00	6.91	
19	184	1980/9/7	6:39	.291	1.907	.041	.510	10.88	9.00	6.91	
20	182	1980/9/7	10:40	.246	1.064	.035	.404	37	9.00	6.91	
21	187	1980/9/7	14:40	.238	1.175	.035	.382	10.82	9.00	7.21	
22	198	1980/9/7	18:39	.253	1.971	.022	.413	55	9.00	7.06	
23	196	1980/9/7	22:39	.274	1.227	.023	.452	13.39	9.00	6.91	
24	185	1980/9/8	2:40	.233	1.380	.027	.387	13	9.00	6.91	
25	179	1980/9/8	6:39	.173	1.226	.028	.305	46	9.00	6.91	
26	180	1980/9/8	10:40	.178	1.124	.031	.308	73	9.00	6.91	
27	184	1980/9/8	14:40	.209	1.228	.021	.402	49	9.00	6.91	
28	190	1980/9/8	18:39	.190	1.380	.024	.372	55	9.00	6.91	
29	195	1980/9/8	22:39	.213	1.175	.018	.370	11.42	9.00	6.91	
30	188	1980/9/9	2:40	.217	1.380	.027	.384	11.01	9.00	6.91	
31	174	1980/9/9	6:39	.159	1.617	.024	.264	34	9.00	6.91	
32	185	1980/9/9	10:40	.152	1.460	.017	.244	41	9.00	6.91	
33	183	1980/9/9	14:40	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
34	186	1980/9/9	18:39	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
35	185	1980/9/9	22:39	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
36	183	1980/9/10	2:40	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
37	185	1980/9/10	6:39	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
38	183	1980/9/10	10:40	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
39	185	1980/9/10	14:40	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	
40	183	1980/9/10	18:39	.124	1.715	.011	.211	48	9.00	6.91	



VI-7 y VI-8, en donde aparece la probabilidad de exce - dencia de alturas y períodos, en análisis anual. A esta información podrá dársele un tratamiento estadístico si milar al de las cartas "Sea and Swell" u "Ocean Waves".

Debido a que este tipo de aparato no registra las direc - ciones del oleaje, será necesario realizar mediciones - visuales por lo menos dos veces al día, espaciadas conve - nientemente, por ejemplo a las 7:00 A.M. y 6:00 P.M., - obteniendo su porcentaje de acción con respecto a rosas - de 16 u 8 puntas. Tales mediciones, ya resumidas en me - ses, estaciones y anual se muestran en los cuadros VI-33 a VI-35, esquematizando lo anterior, para la rosa de 8 - puntas, en la figura VI-9.

## VI.2 OLEAJE EXTRAORDINARIO

Para la determinación de alturas de ola ciclónicas en a - guas profundas, se partirá únicamente de datos meteoroló - gicos, considerando los reportes del Servicio Meteoroló - gico Nacional, ya que no existen los suficientes regis - tros para utilizar otro método.

CUADRO -- VI-32  
 PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
 COATZACOALCOS VER.  
 ANALISIS DE OLEAJE  
 PORCENTAJES DE ACCION POR RANGOS DE ALTURA Y PERIODO

PERIODO ANUAL

No. DE OLAS 103,009

PERIODO SEG.	ALTURAS EN METROS										%TOTAL	%ACUM
	0-02	02-04	04-06	06-08	08-10	10-15	15-20	20-25	25-30	>3.0		
0-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-6	1.82	4.99	5.02	3.93	3.17	4.34	1.83	0.82	0.38	0.69	26.99	26.99
6-8	3.61	9.18	9.55	8.00	6.06	8.32	2.57	0.65	0.16	0.04	48.14	75.13
8-10	1.99	4.33	3.30	2.38	1.70	2.78	1.29	0.60	0.22	0.09	18.68	93.81
10-12	0.55	1.09	0.86	0.67	0.56	0.71	0.31	0.11	0.03	0.00	4.89	98.70
12-14	0.11	0.19	0.27	0.21	0.09	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00	1.03	99.73
14-16	0.01	0.05	0.06	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	99.91
16-18	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	99.95
18-20	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	99.97
>20	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	100.00
%TOTAL	8.11	19.89	19.07	15.22	11.59	16.28	6.04	2.19	0.79	0.82	100.00	
%ACUMULADO	8.11	28.00	47.07	62.29	73.88	90.16	96.20	98.39	99.18	100.00	100.00	

CUADRO VI-33

PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
COATZACOALCOS, VERACRUZ

NUMERO DE OBSERVACIONES Y PORCENTAJE DE  
ACCION POR DIRECCION

ANALISIS MENSUAL  
ROSA DE 16 PUNTAS

PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.	PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.
SEP.	N	0	0.00	MARZO	N	2	3.23
	NNE	6	26.09		NNE	30	48.59
	NE	17	73.91		NE	30	48.59
	ENE	0	0.00		ENE	0	0.00
TOTAL		23	100.00	TOTAL		62	100.00
OCT.	N	2	3.33	ABRIL	N	2	3.33
	NNE	22	36.67		NNE	32	53.33
	NE	35	58.33		NE	25	41.67
	ENE	1	1.67		ENE	1	1.67
TOTAL		60	100.00	TOTAL		60	100.00
NOV.	N	1	1.67	MAYO	N	2	3.22
	NNE	25	41.67		NNE	28	45.16
	NE	35	58.33		NE	32	51.61
	ENE	1	1.67		ENE	0	0.00
TOTAL		60	100.00	TOTAL		62	100.00
DIC.	N	0	0.00	JUNIO	N	2	3.33
	NNE	28	45.16		NNE	15	25.00
	NE	33	55.23		NE	42	70.00
	ENE	1	1.61		ENE	1	1.67
TOTAL		62	100.00	TOTAL		60	100.00
ENERO	N	0	0.00	JULIO	N	0	0.00
	NNE	24	38.71		NNE	16	27.59
	NE	37	59.68		NE	42	72.41
	ENE	1	1.61		ENE	0	0.00
TOTAL		62	100.00	TOTAL		58	100.00
FEBRERO	N	2	3.57	AGOSTO	N	1	1.75
	NNE	35	58.93		NNE	26	45.62
	NE	21	37.50		NE	30	52.63
	ENE	0	0.00		ENE	0	0.00
TOTAL		56	100.00	TOTAL		57	100.00

CUADRO VI-34

PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
COATZACOALCOS, VERACRUZ

NUMERO DE OBSERVACIONES Y PORCENTAJE DE  
ACCION POR DIRECCION

ANALISIS MENSUAL  
ROSA DE 8 PUNTAS

PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.	PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.
SEP.	N	1	4.25	MARZO	N	6	9.67
	NE	22	95.65		NE	56	90.33
TOTAL		23	100.00	TOTAL		62	100.00
OCT.	N	4	6.67	ABRIL	N	4	6.67
	NE	56	93.33		NE	56	93.33
TOTAL		60	100.00	TOTAL		60	100.00
NOV.	N	2	3.33	MAYO	N	2	3.22
	NE	58	96.67		NE	60	96.78
TOTAL		60	100.00	TOTAL		62	100.00
DIC.	N	2	3.23	JUNIO	N	1	6.67
	NE	60	96.77		NE	56	93.33
TOTAL		62	100.00	TOTAL		60	100.00
ENE.	N	4	6.45	JULIO	N	2	3.44
	NE	58	93.55		NE	56	96.56
TOTAL		62	100.00	TOTAL		58	100.00
FEB.	N	4	7.14	AÑO.	N	3	5.26
	NE	52	92.86		NE	54	94.74
TOTAL		56	100.00	TOTAL		57	100.00

CUADRO VI-35

PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
COATZACOALCOS, VERACRUZ

NUMERO DE OBSERVACIONES Y PORCENTAJE DE  
ACCION POR DIRECCION

ANALISIS ESTACIONAL Y ANUAL

ROSA DE 16 PUNTAS				ROSA DE 8 PUNTAS				
PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.	PERIODO	DIRECC.	Nº OBS.	% ACC.	
PRIMAVERA	N	6	3.30	PRIMAVERA	N	10	5.49	
	NNE	75	41.21		TOTAL	NE	172	94.51
	NE	99	54.39			182	100.00	
	ENE	2	1.10					
	TOTAL	182	100.00					
VERANO	N	1	0.73	VERANO	N	6	4.35	
	NNE	48	34.78		TOTAL	NE	132	95.65
	NE	89	64.49			138	100.00	
	ENE	0	0.00					
	TOTAL	138	100.00					
OTOÑO	N	3	1.65	OTOÑO	N	8	4.40	
	NNE	75	41.21		TOTAL	NE	174	95.60
	NE	101	55.49			182	100.00	
	ENE	3	1.65					
	TOTAL	182	100.00					
INVIERNO	N	4	2.22	INVIERNO	N	14	7.78	
	NNE	87	48.33		TOTAL	NE	166	92.22
	NE	88	48.89			180	100.00	
	ENE	1	0.56					
	TOTAL	180	100.00					
ANUAL	N	-	1.98	ANUAL	N	-	5.51	
	NNE	-	41.38		TOTAL	NE	-	94.49
	NE	-	55.81			682	100.00	
	ENE	-	0.85					
	TOTAL	682	100.00					

FIGURA- VI-7  
PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
COATZACOALCOS VER.  
ALTURAS DE OLA  
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA  
PERIODO ANUAL

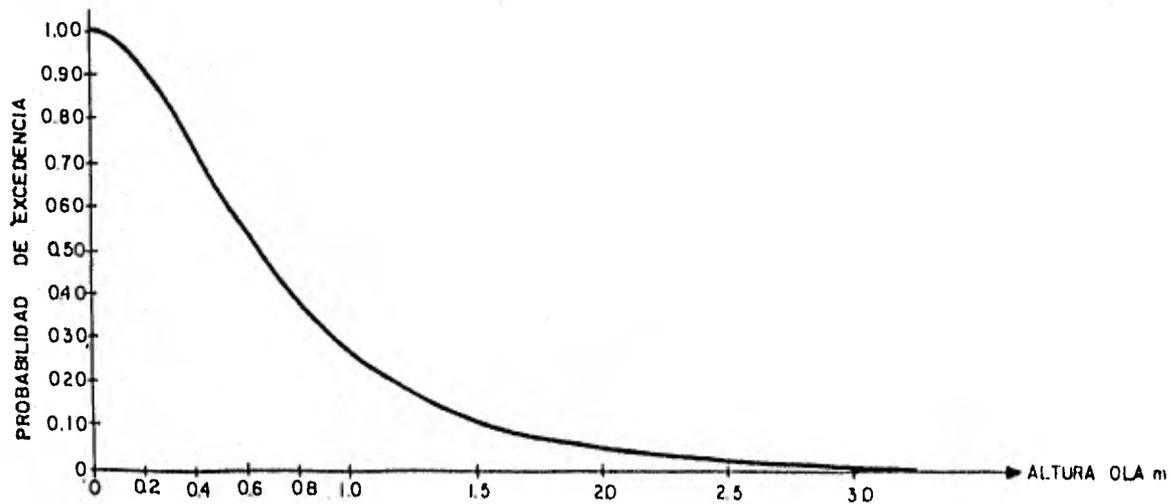


FIGURA- VI-8  
PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
COATZACOALCOS VER.  
PERIODOS DE OLA  
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA  
PERIODO ANUAL

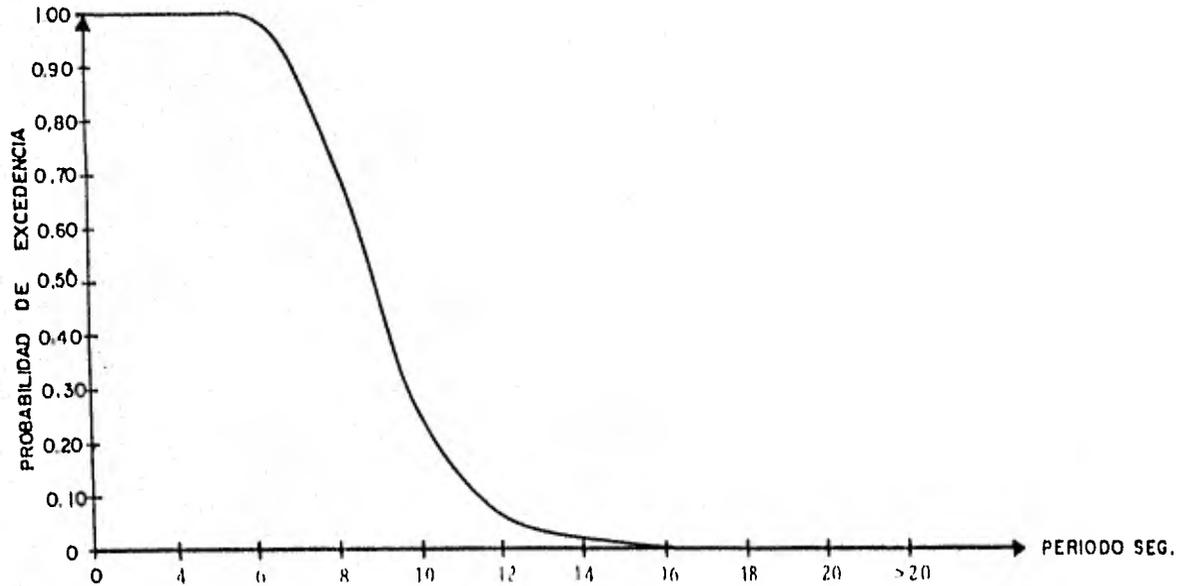
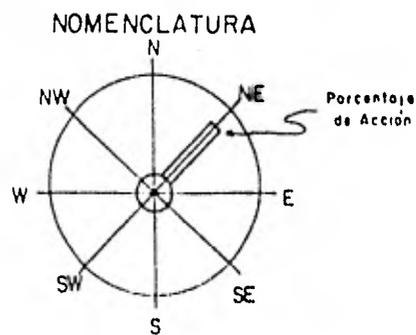
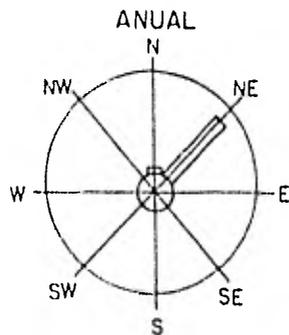
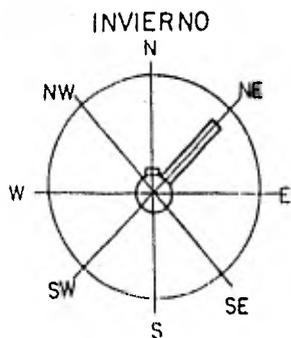
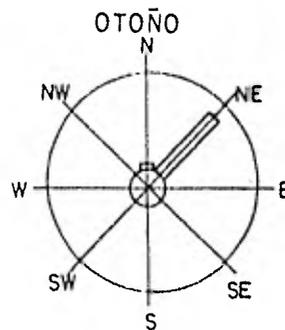
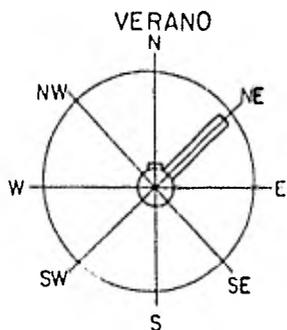
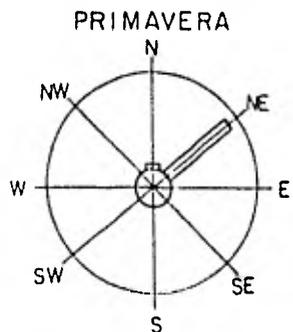


FIGURA-VI-9  
 PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
 COATZACOALCOS VER.  
 ANALISIS DE OLEAJE POR DIRECCION  
 PORCENTAJE DE ACCION  
 ROSA DE 8 PUNTAS



Los métodos de predicción que se utilizarán son los del C.E.R.C. y S.M.B. Posteriormente se les asignará un período de retorno y se verá cuál es la altura máxima de ola y si ésta romperá antes de llegar a una profundidad dada, derivando por último su espectro de energía.

#### VI.2.1 MÉTODO C.E.R.C.

Del Servicio Meteorológico Nacional, se obtuvieron datos de 11 huracanes, del año de 1955 a 1980, los cuales arrojaron 39 juegos de datos de oleaje. La razón por la que se toman en cuenta sólo 11 huracanes es que para otros que han ocurrido en la zona, no se tienen datos útiles en el Servicio Meteorológico Nacional, o pasaron demasiado alejados del punto de interés.

Los huracanes analizados por orden cronológico son:

- 1) Janet (1955)
- 2) Carla (1961)
- 3) Inés (1966)
- 4) Beulah (1967)
- 5) Fern (1967)
- 6) Edith (1971)

- 7) Brenda (1973)
- 8) Carmen (1974)
- 9) Caroline (1975)
- 10) Bess (1978)
- 11) Allen (1980)

Una vez seleccionados los huracanes, se procede a calcular el radio de vientos máximos, con la ecuación (3-34):

$$R = 15.4 \tanh [0.0873(\phi - 28^\circ)] + 6.6e^{-\Delta p} + 0.02V_F + 20.1$$

que en el sistema métrico decimal equivale a:

$$R = 28.52 \tanh [0.0873(\phi - 28^\circ)] + 12.22e^{-\frac{\Delta p}{33.86}} + 0.02V_F + 37.22 \quad (6-1)$$

con las siguientes unidades:

R (Km)

$\phi$  (grados)

$\Delta p$  (milibares)

$V_F$  (Km/hr)

Con el valor de R se calcula  $U_{max}$ , de la ecuación (3-37):

$$U_{max} = 0.868 [73(P_n - P_o)^{1/2} - R(0.575f)]$$

y para el sistema métrico decimal:

$$U_{\max} = 20.167 (P_n - P_o)^{1/2} - R \omega \sin \theta \quad (6-2)$$

en la que sus unidades son:

$U_{\max}$  (Km/hr)

$\omega$  (rad/hr)

En el huracán Allen se dispone de mediciones en el huracán realizadas por aviones, resultando por la trayectoria de éste de mayor interés para el sitio en cuestión - las correspondientes al 8 y 9 de agosto de 1980, a las 12:00 y 0:00 hrs., respectivamente, como se muestra en la figura VI-10. Las mediciones son las siguientes:

Latitud<sub>1</sub> = 23° 30'

Po<sub>1</sub> = 961 mb

V<sub>F1</sub> = 17.7 Km/hr

U<sub>max1</sub> = 240 Km/hr

Latitud<sub>2</sub> = 24° 30'

Po<sub>2</sub> = 914 mb

V<sub>F2</sub> = 17.7 Km/hr

U<sub>max2</sub> = 333 Km/hr

por lo que resulta conveniente revisar la ecuación (6-2):

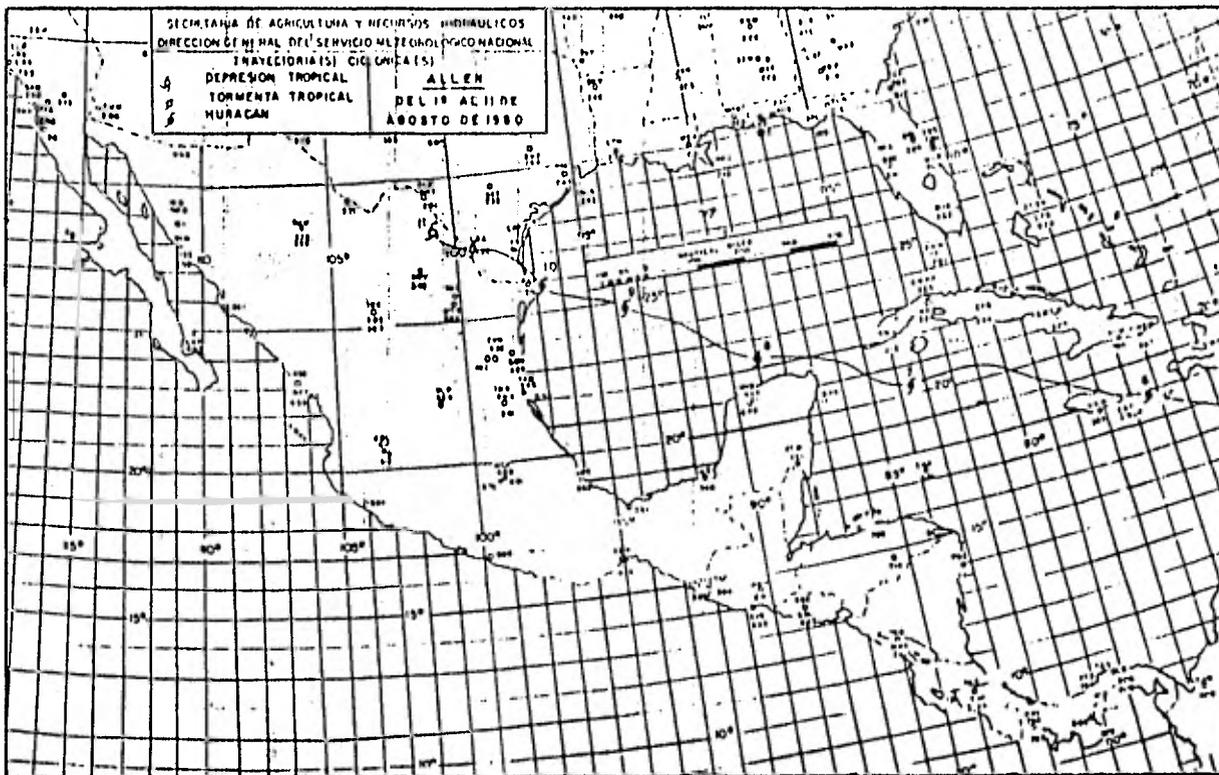


FIGURA VI-10

$$R_1 = 28.52 \tanh [0.0873(23.5^\circ - 28^\circ)] + 12.22 e^{-\left[\frac{(1,013-961)}{33.86}\right]} + 0.02(17.7) + 37.22$$

$$R_1 = 28.52 (0.37381) + 2.63309 + 0.354 + 37.22 = 50.9 \text{ Km}$$

$$R_1 = 50.9 \text{ Km}$$

$$R_2 = 28.52 \tanh [0.0873(24.5^\circ - 28^\circ)] + 12.22 e^{-\left[\frac{(1,013-914)}{33.86}\right]} + 0.02(17.7) + 37.22$$

$$R_2 = 28.52 (-0.29638) + 0.65657 + 0.354 + 37.22 = 46.7 \text{ Km}$$

$$R_2 = 46.7 \text{ Km}$$

$$U_{\max 1} = 20.167(1,013-961)^{1/2} - 50.9(0.2618)(0.39875) = -- \\ = 145.4263 - 5.3136$$

$$U_{\max 1} = 140.1127 \text{ Km/hr}$$

$$U_{\max 2} = 20.167(1,013-914)^{1/2} - 46.7(0.2618)(0.41470) = -- \\ = 200.6591 - 5.0701$$

$$U_{\max 2} = 195.5890 \text{ Km/hr}$$

Si se cambia el coeficiente que afecta a los parámetros de presión resulta:

$$U_{\max} = K(P_n - P_o)^{1/2} - R\omega \text{ sen } \phi$$

$$240 = K_1 (7.2111) - 5.3136$$

$$K_1 = \frac{240 + 5.3136}{7.2111}$$

$$K_1 = 34.0189 \doteq 34$$

$$333 = K_2(9.9499) - 5.0701$$

$$K_2 = \frac{333 + 5.0701}{9.9499} = 33.9772$$

$$K_2 = 33.9772 \doteq 34$$

$$K = 34$$

Resultando la ecuación para calcular los vientos máxi -  
mos:

$$U_{max} = 34(P_n - P_o)^{1/2} - R \omega \text{ sen } \phi \quad (6-3)$$

A partir de  $U_{max}$ , se calcula la velocidad máxima sosteni -  
da  $U_R$  y en función de ésta, la altura de ola significan -  
te  $H_o$  en aguas profundas y su correspondiente período, -  
con las ecuaciones (3-36), (3-32) y (3-33), respectiva -  
mente:

$$U_R = 0.865 U_{max} + 0.5 V_F$$

$$H_o = 16.5 e^{\frac{R \Delta p}{100}} \left[ 1 + \frac{0.208 \alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right]$$

que en el sistema métrico decimal equivale a:

$$H_o = 5.033 e^{\frac{R \Delta p}{6270}} \left[ 1 + \frac{0.153 \alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (6-4)$$

$$T_s = 8.6 e^{\frac{R\Delta p}{200}} \left[ 1 + \frac{0.104\alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right]$$

en sistema métrico decimal:

$$T_s = 8.6 e^{\frac{R\Delta p}{12540}} \left[ 1 + \frac{0.076\alpha V_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (6-5)$$

Para el caso del huracán Allen, considerando  $\alpha=1$  (desplazamiento lento), resulta:

$$U_{R1} = 0.865(239.8638) + 0.5(17.7)$$

$$U_{R1} = 216.33 \text{ Km/hr}$$

$$U_{R2} = 0.865(333.2265) + 0.5(17.7)$$

$$U_{R2} = 297.09 \text{ Km/hr}$$

$$H_{o1} = 5.033 e^{\frac{50.9(52)}{6270}} \left[ 1 + \frac{0.153(1)(17.7)}{\sqrt{216.33}} \right]$$

$$H_{o1} = 9.09 \text{ m}$$

$$H_{o2} = 5.033 e^{\frac{46.7(99)}{6270}} \left[ 1 + \frac{0.153(1)(17.7)}{\sqrt{297.09}} \right]$$

$$H_{o2} = 12.17 \text{ m}$$

$$T_{s1} = 8.6 e^{\frac{50.9(52)}{12540}} \left[ 1 + \frac{0.076(1)(17.7)}{\sqrt{216.33}} \right]$$

$$T_{s1} = 11.59 \text{ seg}$$

$$Ts_2 = 8.6 e^{\frac{46.7(99)}{12540}} \left[ 1 + \frac{0.076(1)(17.7)}{\sqrt{297.09}} \right]$$

$$Ts_2 = 13.40 \text{ seg}$$

El procesamiento de los huracanes considerados se presentan en los cuadros VI-36 y VI-37, analizados para:

$$K = 20.167 \text{ y } K = 34$$

#### VI.2.2 MÉTODO S.M.B.

El primer paso consiste en obtener la velocidad del viento superficial. Si se deriva ésta de las cartas del tiempo, figs. VI-11 y VI-12, el gradiente de presión para el 8 de agosto de 1980 a las 12:00 hrs (huracán Allen) sería:

$$\frac{\Delta p}{\Delta n} = \frac{1006-961}{2.31} = 19.48$$

$$\frac{19.48}{5} = 3.9 \text{ veces el valor resultante para 5 mb de espaciamento isobárico.}$$

Entrando a la fig. III-3 con 2.31 y 23.5° de latitud: -

CUADRO VI-36  
 PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
 OLEAJE CICLONICO

LAGUNA DEL OSTION, VERACRUZ.

CICLON	IOS/ CEN	FIDIA	LEDA	Dis. P. Inter.	Pres. No. Milibares	Latitud d	VF K.P.H.	R V.R.km.	Vel. Máx. U K.P.H.	OM K.P.H.	H <sub>0</sub> metros	To segundos	TIPO f.fec.	Observaciones
JANET	1	28 IX 55	12:30	200	959	19°00'	20.3	64.07	142.74	137.62	11.96	13.41	167.56	
	2	28 IX 55	18:30	250	965	20°00'	13.3	60.05	134.34	122.86	9.43	11.81	139.70	
	3	29 IX 55	6:30	300	953	20°00'	13.3	59.16	150.92	137.19	10.41	12.00	127.54	
CARLA	1	8 IX 61	12:00	550	959	23°00'	5.0	42.41	142.83	126.05	8.41	11.14	99.46	
	2	8 IX 61	18:00	600	967	23°00'	5.0	53.08	131.35	116.12	7.96	10.87	104.08	
	3	9 IX 61	6:00	700	959	24°00'	13.3	51.93	142.67	130.06	9.28	11.71	112.78	MA AT 1.000
	4	9 IX 61	12:00	600	965	23°30'	33.3	57.50	133.72	132.32	11.28	13.08	161.06	
NILS	5	9 IX 61	18:00	600	965	23°30'	33.3	57.50	133.72	132.32	11.28	13.08	161.06	
	1	6 X 66	6:00	300	965	21°30'	8.3	56.49	134.30	120.32	8.65	11.29	114.67	
	2	8 X 66	12:00	300	965	21°00'	20.0	59.72	134.12	126.01	10.12	12.27	142.91	
	3	8 X 66	18:00	250	965	20°45'	13.3	58.81	134.27	122.79	9.35	11.75	128.40	
	4	9 X 66	6:00	500	965	22°15'	6.7	54.74	134.29	119.51	8.37	11.10	108.75	
MILANI	5	9 X 66	12:00	450	967	22°00'	16.7	57.41	131.15	121.79	9.44	11.84	133.30	
	6	9 X 66	18:00	510	967	22°10'	16.7	57.06	131.14	121.79	9.42	11.82	132.65	
	1	17 IX 67	18:00	500	950	21°30'	13.3	56.43	154.66	140.43	10.40	12.39	121.50	
	2	18 IX 67	6:00	500	962	21°30'	46.7	63.91	137.89	142.62	13.53	14.47	199.47	
	3	18 IX 67	12:00	350	965	21°30'	12.2	57.27	134.23	127.31	9.12	11.61	123.45	
	4	19 IX 67	6:00	490	963	21°30'	13.3	57.32	137.10	125.24	9.39	11.78	121.73	
TINA	5	19 IX 67	12:00	550	956	22°30'	25.0	54.96	150.48	142.66	11.21	12.97	137.68	MA AT 1.000
	6	19 IX 67	18:00	700	953	23°30'	25.0	54.96	150.48	142.66	11.21	12.97	137.68	
	1	1 X 67	18:00	350	968	20°00'	14.5	60.56	129.86	119.58	9.35	11.76	135.53	
	2	2 X 67	18:00	520	968	22°30'	7.2	54.63	129.81	115.89	8.21	10.99	111.29	
	3	3 X 67	6:00	520	962	22°30'	7.2	54.10	138.60	123.49	8.59	11.24	107.26	
	4	3 X 67	6:00	600	963	22°30'	21.7	51.08	136.80	129.25	10.25	12.36	139.45	
EJHITI	1	12 X 71	6:00	600	967	22°00'	7.2	55.51	131.34	117.21	8.33	11.07	112.04	
	2	13 X 71	6:00	600	962	22°30'	7.2	54.10	138.60	123.49	8.59	11.24	107.26	MA AT 1.000
	3	14 X 71	6:00	700	962	22°30'	7.2	54.10	138.60	123.49	8.59	11.24	107.26	
BOLIBIA	1	20 VIII 73	12:00	450	964	20°00'	8.7	59.04	135.80	121.89	8.95	11.18	119.43	
	2	21 VIII 73	12:00	250	960	18°00'	8.7	61.56	141.84	127.04	9.47	11.81	123.15	
CARMEN	1	4 IX 74	12:00	400	966	20°00'	7.2	58.92	132.98	118.63	8.62	11.26	117.03	
	2	5 IX 74	12:00	550	963	21°30'	7.2	56.10	137.22	122.30	8.66	11.29	111.07	
CAROLINE	1	29 VIII 75	0:00	600	966	23°00'	17.4	55.46	132.58	123.39	9.46	11.85	130.19	
	2	29 VIII 75	12:00	600	963	23°30'	4.3	51.43	137.22	120.85	8.05	10.88	98.25	
	3	30 VIII 75	0:00	550	966	23°00'	11.6	54.30	132.70	120.59	8.78	11.39	117.62	
	4	30 VIII 75	12:00	600	963	23°30'	11.6	51.05	137.07	124.37	8.98	11.51	115.50	
RUSS	1	7 VIII 78	0:00	550	966	23°30'	20.0	54.93	132.52	124.63	11.18	12.00	133.74	
	2	7 VIII 78	12:00	500	972	21°30'	11.6	57.83	123.58	112.70	8.57	11.25	128.31	
MILAN	3	8 VIII 78	0:00	450	960	20°30'	11.6	58.49	141.46	128.16	9.55	11.87	122.97	
	1	8 VIII 80	12:00	640	961	23°30'	17.7	54.05	139.78	139.76	9.75	12.03	125.23	
	2	9 VIII 80	0:00	680	914	24°30'	17.7	49.87	195.24	177.74	13.31	14.61	124.78	

$(V_{0.5} - V_{10}) / 2.2 = V_{10} \text{ km/h}$

$k = 20.167$

C I A D R O VI-37  
 PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
 O L E A J E C I C L O N I C O

LAGUNA DEL OSTION, VIRACLUZ.

C I C L O N	HORAS	MIN	SEG	HORA	Hrs. P. Inter.	Pres. Po. Millibares	Latitud d	VF	R	Vel. Mts.	IM	H)	To	FETOS
								K.P.H.	V.R.M.	U	K.P.H.			
JANET	1	26	IX	55	12:30	200	19°00'	28.3	64.07	244.39	225.54	11.26	12.95	55.21
	2	28	IX	55	18:30	250	20°00'	13.3	60.05	230.18	205.76	9.10	11.58	43.37
	3	29	IX	55	6:30	300	20°00'	13.3	59.16	258.07	229.88	10.06	12.17	42.42
CARLA	1	8	IX	61	12:00	550	23°00'	5.0	52.41	244.49	213.98	8.32	11.06	33.50
	2	8	IX	61	18:00	600	23°00'	5.0	53.08	225.17	197.27	7.81	10.73	34.96
	3	9	IX	61	6:00	700	24°00'	13.3	51.93	244.32	217.98	8.96	11.49	37.43
	4	9	IX	61	12:00	600	25°30'	13.3	57.50	229.56	215.22	10.51	12.57	53.08
	5	9	IX	61	18:00	600	25°30'	33.3	57.50	229.56	215.22	10.51	12.57	53.08
IVIS	1	8	X	66	6:00	300	21°30'	8.3	56.49	230.14	205.22	8.45	11.15	38.30
	2	8	X	66	12:00	300	21°00'	20.0	59.72	229.96	208.91	9.63	11.95	47.11
	3	8	X	66	18:00	250	20°45'	13.3	58.81	230.10	205.69	9.02	11.53	42.59
	4	9	X	66	6:00	500	22°15'	6.7	54.74	230.13	202.41	8.20	10.98	36.42
	5	9	X	66	12:00	450	22°00'	16.7	57.41	224.97	202.95	9.04	11.56	44.03
	6	9	X	66	18:00	510	22°10'	16.7	57.06	224.96	202.91	9.02	11.55	43.81
NEILAI	1	17	IX	67	18:00	500	21°30'	13.3	56.43	264.45	235.40	10.06	12.17	40.40
	2	18	IX	67	6:00	500	21°30'	46.7	63.91	236.68	228.07	12.47	13.77	66.26
	3	18	IX	67	12:00	350	21°30'	12.2	57.27	230.06	205.11	8.82	11.40	40.90
	4	19	IX	67	6:00	400	21°30'	13.3	57.32	234.92	209.85	9.01	11.56	41.37
	5	19	IX	67	12:00	550	22°30'	25.0	57.22	250.96	229.58	10.60	12.55	47.30
	6	19	IX	67	18:00	700	23°30'	25.0	54.96	257.63	235.35	10.64	12.57	45.30
ITON	1	1	X	67	18:00	350	20°00'	14.5	60.56	222.66	199.85	8.99	11.52	44.80
	2	2	X	67	18:00	520	22°30'	7.2	54.63	222.61	196.15	8.03	10.87	37.19
	3	3	X	67	6:00	520	22°30'	7.2	54.10	237.39	208.91	8.41	11.12	35.92
DILHI	1	12	X	71	6:00	600	22°30'	21.7	57.08	234.70	213.86	9.74	12.02	45.91
	2	13	X	71	6:00	600	22°00'	7.2	55.51	225.16	198.36	8.15	10.95	37.46
	3	14	X	71	6:00	700	22°30'	7.2	54.10	237.39	208.91	8.41	11.12	35.92
INDIA	1	20	VIII	73	12:00	450	20°00'	8.7	59.04	232.71	205.65	8.73	11.33	39.90
	2	21	VIII	73	12:00	250	18°00'	8.7	64.56	242.51	214.15	9.21	11.66	41.26
LAUREN	1	4	IX	74	12:00	400	20°00'	7.2	58.92	227.82	200.66	8.44	11.14	39.18
	2	5	IX	74	12:00	550	21°30'	7.2	56.10	235.03	206.90	8.48	11.16	37.20
CAROLINE	1	29	VIII	75	0:00	600	23°00'	17.4	55.16	227.42	205.42	9.01	11.56	42.07
	2	29	VIII	75	12:00	600	23°30'	4.3	51.43	235.04	205.46	7.94	10.80	33.10
	3	30	VIII	75	0:00	550	23°00'	11.6	54.30	227.54	202.62	8.50	11.19	30.05
BISS	1	30	VIII	75	12:00	600	23°00'	11.6	54.05	234.80	208.98	8.70	11.32	38.38
	2	7	VIII	78	0:00	550	21°30'	20.0	54.93	227.16	206.66	9.21	11.68	44.07
ALLEN	1	6	VIII	78	0:00	450	20°30'	11.6	57.83	212.11	189.32	8.29	11.06	42.51
	2	7	VIII	78	12:00	500	21°30'	11.6	57.83	212.11	189.32	8.29	11.06	42.51
	3	8	VIII	80	0:00	610	21°30'	12.7	54.05	219.53	215.27	9.25	11.67	40.93
	2	9	VIII	80	0:00	600	24°30'	12.7	49.87	332.88	296.90	12.80	13.74	41.23

$(h_{m}) = 34 (h_{s} - h_{m})^{1/2}$ . De sen d

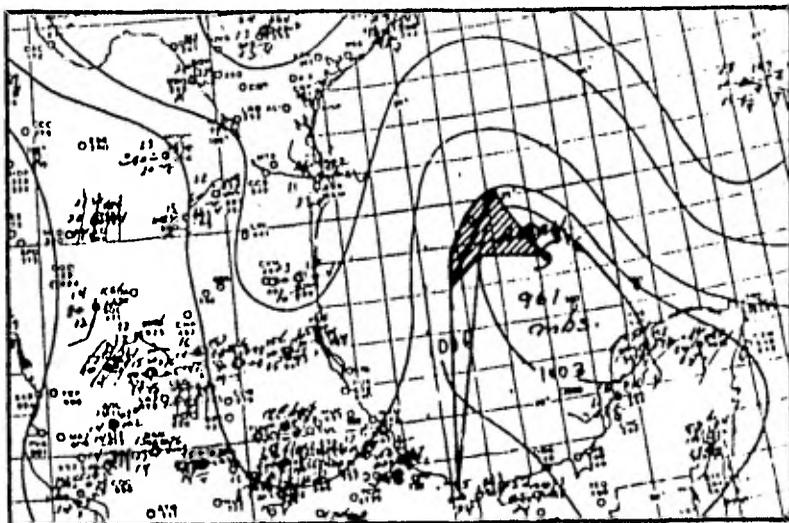


FIGURA VI-11. Configuración isobárica del 8 de agosto de 1980 (Huracán Allen).

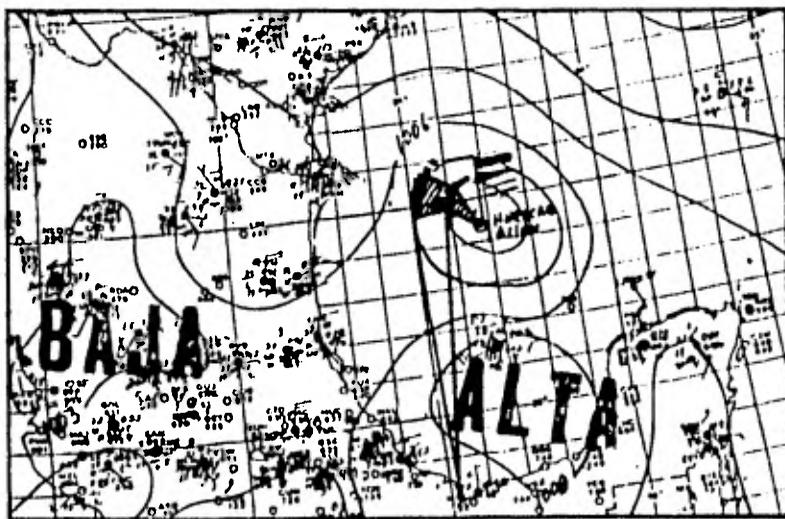


FIGURA VI-12. Configuración isobárica del 9 de agosto de 1980 (Huracán Allen).

$$Vg_5 \approx 52 \text{ nudos}$$

$$Vg = 3.9(52) = 202.8 \text{ nudos}$$

Por no contar con datos de la temperatura del mar y del aire, de la tabla III-1:

$$U_1 = 0.6(202.8) = 121.7 \text{ nudos} = 225 \text{ Km/hr}$$

En forma similar para el 9 de agosto de 1980 a las 0:00 hrs resulta:

$$U_2 = 0.6(507.3) = 304.4 \text{ nudos} = 563 \text{ Km/hr}$$

Por la configuración isobárica se tiene:

$$F_1 \approx 145 \text{ Km} = 78.2 \text{ millas}$$

$$F_2 \approx 65 \text{ Km} = 35.6 \text{ millas}$$

Resultando de la fig. III-14:

$$Ho_1 \approx 45 \text{ pies} = 13.7 \text{ m} \quad Ts_1 \approx 14 \text{ seg}$$

$$Ho_2 > 100 \text{ pies} > 30 \text{ m} \quad Ts_2 > 20 \text{ seg}$$

lo cual no resulta admisible.

Si se toman como datos las velocidades obtenidas por el

método del C.E.R.C.:

$$U_1 = 216.33 \text{ Km/hr} = 116.8 \text{ nudos}$$

$$U_2 = 297.09 \text{ Km/hr} = 160.4 \text{ nudos}$$

$$Ho_1 \pm 45 \text{ pies} = 13.7 \text{ m} \quad Ts_1 \pm 14 \text{ seg}$$

$$Ho_2 \pm 50 \text{ pies} = 15.3 \text{ m} \quad Ts_2 \pm 15 \text{ seg}$$

### VI.2.3 OLEAJE EXTRAORDINARIO ASOCIADO A UNA DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA

En la aplicación de una distribución probabilística anual se utilizará la distribución de Gumbel, en la cual es necesario conocer las alturas significantes máximas anuales de 20 años, que en este ejemplo se tomarán de los resultados obtenidos por el método de C.E.R.C. Aún cuando el período de análisis es de 26 años, no es posible obtener altura de ola para todos los años del período, sino solamente para 10 años.

Usando las ecuaciones (4-13) y (4-14):

$$Y = \bar{Y} - \frac{\sigma_Y}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - LT_r)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum Y_i^2 - N(\bar{Y})^2}{N}}$$

$$\bar{Y} = \frac{11.26+10.53+9.63+12.47+9.74+9.24+8.48+9.04+9.25+12.80}{10}$$

$$\bar{Y} = 10.24 \text{ m}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{1069.19 - 1048.58}{10}}$$

$$\sigma_Y = 1.43576$$

De la tabla IV-2, para  $N=10$ :

$$\sigma_N = 0.9497$$

$$\bar{Y}_N = 0.4952$$

Para un período de retorno  $Tr = 20$  años:

$$Y = 10.24 - \frac{1.43576}{0.9497} [0.4952 - L(20)]$$

$$Y_{20} = 14.02$$

$$Ho_{20} = 14.02 \text{ m}$$

Para  $Tr = 100$  años:

$$Y = 10.24 - \frac{1.43576}{0.9497} [0.4952 - L(100)]$$

$$Y_{100} = 16.45$$

$$Ho_{100} = 16.45 \text{ m}$$

El intervalo de confianza  $\Delta Y$  resulta, de la ecuación -

(4-17):

$$\Delta y = \pm \frac{1.14 \sigma_y}{\sigma_n}$$

$$\Delta y = \pm \frac{1.14(1.43576)}{0.9497} = \pm 1.72$$

Por lo tanto:

$$12.30 \text{ m} < H_{o_{20}} < 15.74 \text{ m}$$

$$14.73 \text{ m} < H_{o_{100}} < 18.18 \text{ m}$$

Procediendo de manera similar para los períodos de la -  
ola:

$$\bar{Y} = 12.21$$

$$\sigma_y = 0.75303$$

$$T_{s_{20}} = 14.19 \text{ seg}$$

$$T_{s_{100}} = 15.47 \text{ seg}$$

$$\Delta y = \pm 0.90$$

$$13.29 \text{ seg} < T_{s_{20}} < 15.09 \text{ seg}$$

$$14.57 \text{ seg} < T_{s_{100}} < 16.37 \text{ seg}$$

#### VI.2.4 DECAIMIENTO DEL OLEAJE EXTRAORDINARIO

Una vez obtenidos los valores de  $H_0$  y  $T_s$ , habrá que encontrar la altura de ola máxima, y con ésta ver si podría romper en las estructuras exteriores. Para lo anterior, se necesita conocer la disminución de la altura - por efecto de la distancia de decaimiento y del fondo.

La distancia media de decaimiento resulta del promedio de las distancias de los 10 ciclones que producen la mayor  $H$  al punto de interés.

$$L = 680 \text{ Km}$$

Para  $T_r = 100$  años, con  $H = 18.18 \text{ m}$ ,  $T = 16.37 \text{ seg}$ , de la figura III-14:

$$F = 190.5 \text{ Km} = 102.9 \text{ m.n.}$$

Por lo que la distancia de decaimiento ( $L-F$ ) resulta:

$$D = 680 - 190.5$$

$$D = 489.5 \text{ Km} = 264.3 \text{ m.n.}$$

Con  $H_F = 18.18 \text{ m} = 59.6 \text{ pies}$ ,  $T_F = 16.37 \text{ seg}$ ,  $D = 264.3 \text{ m.n}$  y  $F = 102.9 \text{ m.n.}$ , de la fig. III-12:

$$H_D/H_F = 0.43$$

$$H_D = 0.43(18.18) = 7.82 \text{ m}$$

$$T_D/T_F = 1.31$$

$$T_D = 1.31 (16.37) = 21.44 \text{ seg}$$

Considerando un coeficiente de refracción igual a 0.7, hasta la profundidad de 13 m, en el punto de interés; - la altura significativa ciclónica, para un período de retorno de 100 años resulta:

$$H_{1/3} = 0.7(7.82) = 5.47 \text{ m}$$

La altura de ola máxima ( $H_{max}$ ) puede calcularse con las ecuaciones (4-8), (4-11) y (4-12), siendo  $D$ , según los reportes meteorológicos, aproximadamente 12 horas:

$$H_{1/3} = 1.416 \text{ Hr}$$

$$H_r = \frac{H_{1/3}}{1.416} = \frac{5.47}{1.416}$$

$$H_r = 3.87 \text{ m}$$

$$N = \frac{D}{T_s} = \frac{43,200}{21.44}$$

$$N = 2,015$$

$$H_{max} = H_r(LN)^{1/2} = 3.87 [L(2,015)]^{1/2}$$

$$H_{\max} = 10.67 \text{ m}$$

### VI.2.5 ALTURA DE OLA MÁXIMA PARA DISEÑO

Para el sitio en cuestión, se ha obtenido lo siguiente:

- Pendiente del fondo: 0.02(1:50)
- Profundidad de desplante de las estructuras: 13.00 m
- Marea astronómica máxima: 0.81 m
- Marea de tormenta para  $T_r = 100$  años: 1.09 m

Con lo anterior:

$$d_s = 13.00 + 0.81 + 1.09$$

$$d_s = 14.9 \text{ m}$$

Con este valor y  $T = 20$  seg:

$$\frac{d_s}{gT^2} = 0.0038$$

De la figura 3-35:

$$\frac{H_b}{d_s} = 0.94$$

$$H_b = 0.94(14.9) = 14 \text{ m} > 10.67 \text{ m} (H_{\max})$$

Por lo que la altura de ola máxima para diseño será de

10.67 m.

## VI.6 ESPECTRO DE ENERGÍA

A partir de la altura significativa del oleaje ya decaída, se puede aplicar la ecuación (3-13) para conocer la energía:

$$E = \frac{H_{1/3}^2}{(2.832)^2}$$

$$E = \frac{(7.82)^2}{8.0202}$$

$$E = 7.62$$

Por lo que el área bajo la curva del espectro será i --  
gual a:

$$A = \frac{7.62}{2}$$

$$A = 3.81$$

El área bajo la curva  $S_J(f)$  Vs.  $f$  nos lleva a un espectro con las siguientes características:

$$T_m = 13 \text{ seg}$$

$$f_m = 0.0769$$

$$\bar{X} = 105,749.17$$

$$\alpha = 5.9631 \times 10^{-3}$$

Por lo que la ecuación del espectro resulta:

$$S_J(f) = (3.6821 \times 10^{-4}) (f)^{-5} e^{\left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{f}{0.0769} \right)^{-4} \right]}$$

$$\cdot \left\{ 3.3 e^{-\left[ \frac{(f-0.0769)^2}{0.01185^2} \right]} \right\}$$

A su vez, el espectro refractado se obtiene al multiplicar el espectro en aguas profundas por el coeficiente de refracción  $K_E$ , cuyo valor es:

$$K_E = Kr^2$$

$$K_E = 0.7^2$$

$$K_E = 0.49$$

Los anteriores espectros se encuentran graficados en la figura VI-13.

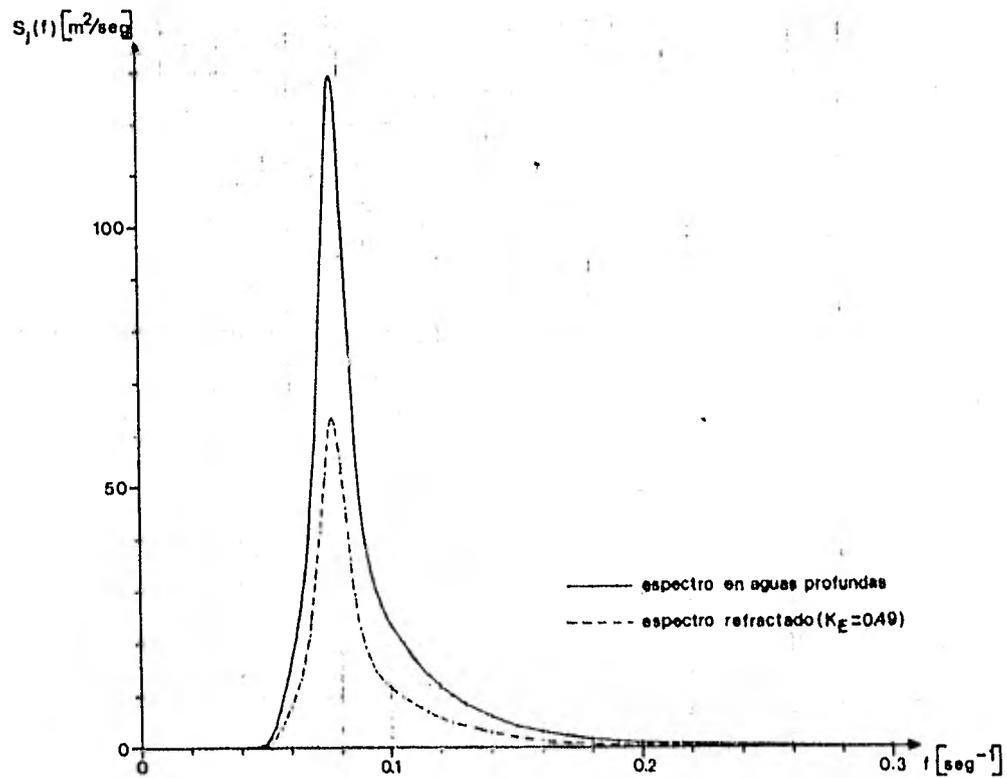


FIGURA VI-13 Espectros de energía.

**CAPITULO VII**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se vio en los capítulos anteriores, existen varias formas de definir las características del oleaje-altura, período, energía, etc.-, dependiendo de la información con que se cuente.

Básicamente los métodos han sido divididos en tres grandes grupos:

- Predicción.
- Información Estadística.
- Mediciones en el Sitio.

La información necesaria para aplicar los métodos de predicción es únicamente meteorológica, tal como la velocidad del viento, presión, latitud, configuración isobárica, etc.

Estos métodos pueden aplicarse al régimen de oleaje normal y al extraordinario, pero siempre se tendrá un error. En la figura VII-1 se muestran las relaciones entre el fetch, la velocidad del viento y la altura, período y velocidad de la ola observados. En ella puede apreciar-



se la gran dispersión que puede ocurrir para una misma situación de fetch y velocidad de viento, llegando a va riar, para el caso de la altura significante, hasta diez veces.

La obtención de las características del oleaje por me dio de información estadística resulta más confiable que por métodos de predicción, pero estará limitada principalmente por la amplitud de las observaciones y zona analizada, ya que por lo general dicha zona es demasiado grande por lo que representará las característi cas en general pero no para ciertos puntos que por su localización presenten condiciones especiales de res guardo o fondo, entre otros aspectos.

Las mediciones en el sitio, obviamente, son el método más seguro para definir las características del oleaje y estarán supeditados únicamente a la amplitud de la muestra.

Para el ejemplo de aplicación aquí mostrado, la obten ción del régimen de oleaje normal más aceptable debería ser por las mediciones en el sitio, pero por el poco tiempo en que se han llevado a cabo, no resultan del to

do confiables, por lo que es conveniente apoyar éstas\_ con alguna otra de las fuentes de información estadística.

Para propósitos de comparación entre las fuentes de información estadísticas analizadas en los ejemplos, los parámetros utilizados pueden ser el tiempo de acción - por dirección y la altura de ola significativa por dirección, en forma anual.

Estos parámetros pueden ser dibujados para las tres -- fuentes en las Fig. VII-2 y VII-3 y tabuladas en el -- cuadro VII-1.

En éstas, se aprecia en el caso del tiempo de acción, -- que hay una discrepancia marcada entre las fuentes, -- tanto en el valor como en forma relativa, esto es, -- Glenn marca como el oleaje más frecuente el del Noreste, Sea and Swell el del Este y Ocean Waves el del Noroeste, no habiendo coincidencia entre ninguna de -- ellas.

En lo que respecta a los valores, éstos son en general dispares, ya que mientras Glenn da un porcentaje de ac

COMPARACION ANALISIS ANUAL  
 PORCENTAJE DE ACCION POR DIRECCION

GLENN.  SEA AND SWELL 

OCEAN WAVES 

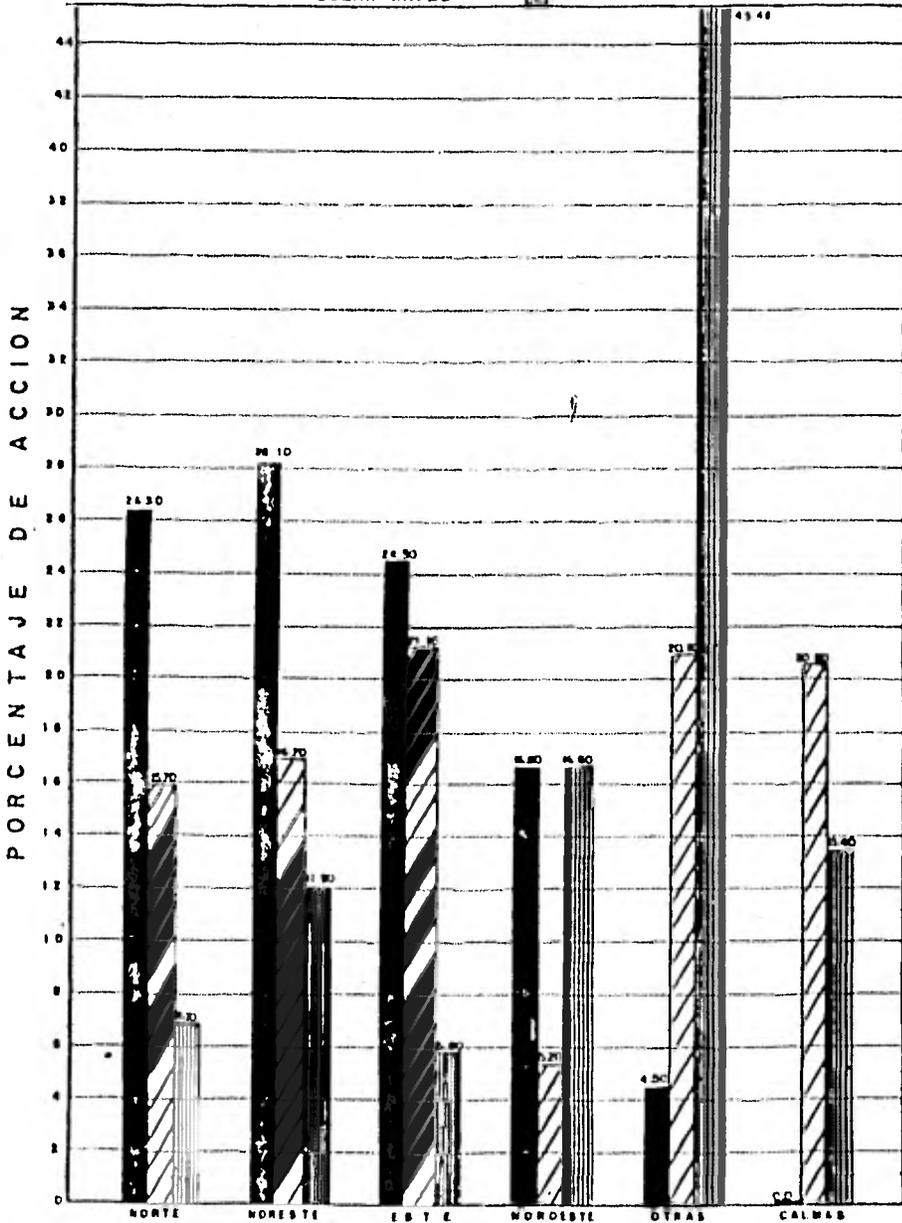


FIGURA VII-2

COMPARACION ANALISIS ANUAL  
 ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE

GLENN ———— ■  
 SEA AND SWELL ———— ▨  
 OCEAN WAVES ———— ▩

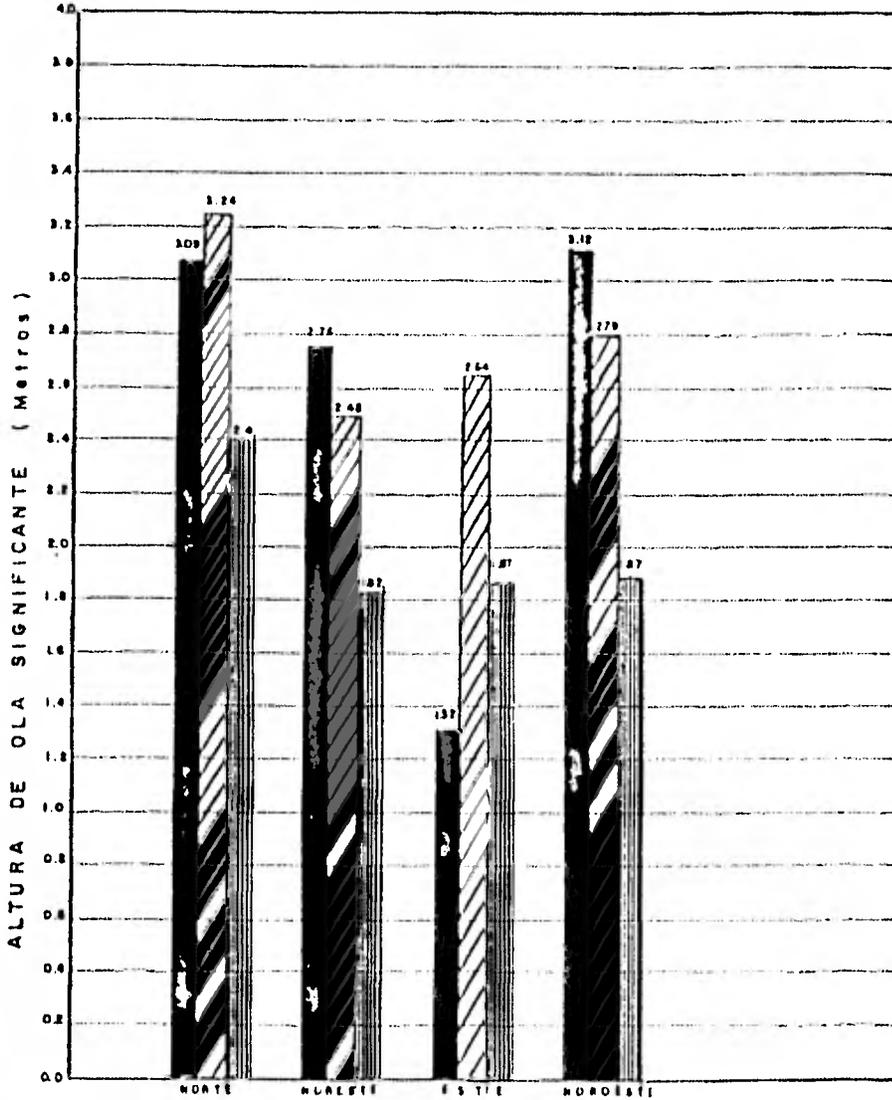


FIGURA VII-3

PUERTO INDUSTRIAL LAGUNA DEL OSTION  
 CONTINGENCIONS, VERANO 1972  
 COMPAÑIA DE INFORMACION DE OLFACI

CUADRO VII-1

PERIODO	N O T I A N				S E A N A N D				S E A N A N D				S E A N A N D			
	G	L	E	N	G	L	E	N	G	L	E	N	G	L	E	N
ENERO	32.1	3.67	17.0	3.50	19.9	3.59	22.0	2.87	12.7	2.55	11.0	2.00	20.0	3.72	---	---
FEBR.	29.2	3.63	15.0	1.53	22.8	3.57	10.0	1.17	20.0	2.45	20.0	1.60	23.1	3.71	---	---
MARZO	26.4	3.36	17.0	3.05	25.0	3.17	9.5	1.22	22.7	2.50	14.6	3.33	19.6	3.37	14.3	---
ABRIL	23.9	2.98	20.0	2.78	29.7	2.69	11.3	1.17	26.5	2.05	27.5	2.53	14.2	2.76	---	---
MAYO	22.1	2.31	6.4	0.81	33.9	2.27	13.8	1.65	29.4	1.76	40.3	1.00	9.1	2.08	5.2	0.81
JUNIO	20.9	2.04	11.1	3.14	36.2	1.90	10.8	1.13	31.1	1.54	25.9	1.58	65.0	1.83	7.6	0.81
JULIO	20.2	1.61	4.5	1.61	37.6	1.66	26.3	2.59	32.2	1.46	21.6	2.91	5.0	1.55	---	---
AGOS.	21.4	1.95	5.1	0.81	34.4	1.85	26.3	2.33	30.2	1.54	8.6	1.37	9.3	1.63	---	---
SEPT.	26.0	2.64	23.9	3.06	28.6	2.63	13.5	4.53	25.6	1.95	19.5	1.70	16.6	2.32	13.7	2.77
OCTB.	28.3	2.60	48.5	3.91	26.6	2.40	22.9	1.15	22.6	1.91	5.7	0.81	19.7	2.49	11.8	2.70
NOV.	31.6	3.60	16.4	4.08	22.3	3.42	17.8	1.75	19.1	2.5	27.9	2.53	23.0	3.56	7.2	1.98
DIC.	33.5	3.70	16.4	3.07	19.1	3.63	21.5	1.88	16.7	2.50	18.5	4.64	27.0	3.68	7.2	0.81
ANUAL	26.3	3.08	15.7	3.24	28.1	2.76	16.7	2.48	24.5	1.32	21.1	2.64	16.6	3.12	5.2	2.24

ción de 26.3% para el Norte, Sea and Swell reporta - -  
15.7% y Ocean Waves un 6.7%, presentándose esta situa -  
ción para todas las direcciones.

Para las alturas de ola, la situación es del mismo ti -  
po, ya que Glenn marca a la altura de ola significante  
del Noroeste como la mayor con un valor de 3.12 m, Sea -  
and Swell a la del Norte con una altura de 3.24 m y - -  
Ocean Waves también a la del Norte, pero con 2.4 m.

Una situación que se aprecia es la concordancia más o -  
menos gruesa de la información de Glenn y Sea and Swell  
en cuanto a órdenes de magnitud de las alturas para las  
direcciones Norte y Noreste, siendo en general los valo  
res reportados por el Ocean Waves menores.

La escasa concordancia entre la información, se debe --  
principalmente a los siguientes factores:

- La insuficiente representatividad de las muestras, ya  
que si se considera que en un año se presentan de - -  
tres a cinco millones de olas, la información estadísti  
ca de las diferentes cartas equivale a menos de - -  
1/10,000.

- Diferentes criterios para la clasificación del oleaje, ya que Sea and Swell los agrupa en local y distante, mientras que las otras dos fuentes no lo hacen; el Sea and Swell y Ocean Waves consideran como calmas a los oleajes menores de un pie, y Glenn las agrupa dentro de un rango de 0 a 1.9 pies.
  
- Grandes diferencias en lo que respecta a la amplitud de la zonas analizadas, ya que Ocean Waves cubre una zona muy amplia que abarca parte de dos oceanos; el Sea and Swell abarca casi la totalidad de nuestras costas del Golfo de México y Glenn obtuvo su oleaje para un punto determinado.
  
- Diferencias en la toma de información, ya que la de Glenn es el producto de una combinación entre observaciones visuales y cálculos a través de cartas del tiempo y por otra parte, Sea and Swell y Ocean Waves reportan tan sólo observaciones visuales.

De los puntos anteriores se podría considerar que la información más confiables está en el Sea and Swell y Glenn, desechando Ocean Waves por cubrir ambos oceanos. De las dos primeras, la información de Glenn sería la

más apropiada por reportar períodos, un rango más detallado de alturas y por haber sido obtenida específicamente para el sitio de estudio, además de coincidir en el Noreste como dirección más frecuente con las mediciones efectuadas en el sitio. (Fig. VI-9)

Al comparar las características del oleaje reportadas por Glenn y las mediciones en el sitio, resalta lo siguiente:

- Alturas menores producto de las mediciones en el sitio, originadas en su mayor parte por los efectos de refracción, ya que la estación oceanográfica se encuentra a una profundidad de 10.5 m r.n.m.m.
- Marcado dominio en las observaciones de la dirección NE, ocasionado al igual que en el punto anterior, por la refracción, ya que éstas se efectuaron a una profundidad de 5 a 10 m, r.n.m.m. aproximadamente.

Por lo anterior se podría concluir que las mediciones en el sitio sólo nos darán una imagen no muy detallada de las características del oleaje, por su poco tiempo de operación, pero combinadas con otra fuente,

en este caso Glenn, nos proporcionarán el elemento más\_ confiable del que se puede disponer.

El régimen de oleaje extraordinario no puede ser determi\_ nado por medio de cartas de información estadística, y\_ tampoco por las mediciones en el sitio, ya que éstas só\_ lo registran las características del oleaje durante un\_ año, por lo que fue necesario obtener información en ba\_ se a métodos de predicción.

El método C.E.R.C. para la predicción de oleaje ciclóni\_ co, parece tener soluciones aceptables tratando de ade\_ cuar sus coeficientes a las condiciones reales, siempre y cuando se cuente con mediciones efectuadas en algún - huracán del sitio de interés, datos que cada vez son -- más disponibles.

En el caso del método S.M.B., se presenta rapidez de re\_ solución, aunque con valores quizá un poco altos.

Se han hecho comparaciones entre observaciones en embar\_ caciones del año de 1963 a 1968 y sus correspondientes\_ predicciones por el método S.M.B. realizadas en 1951 en cuatro estaciones de los Estados Unidos. En general, se

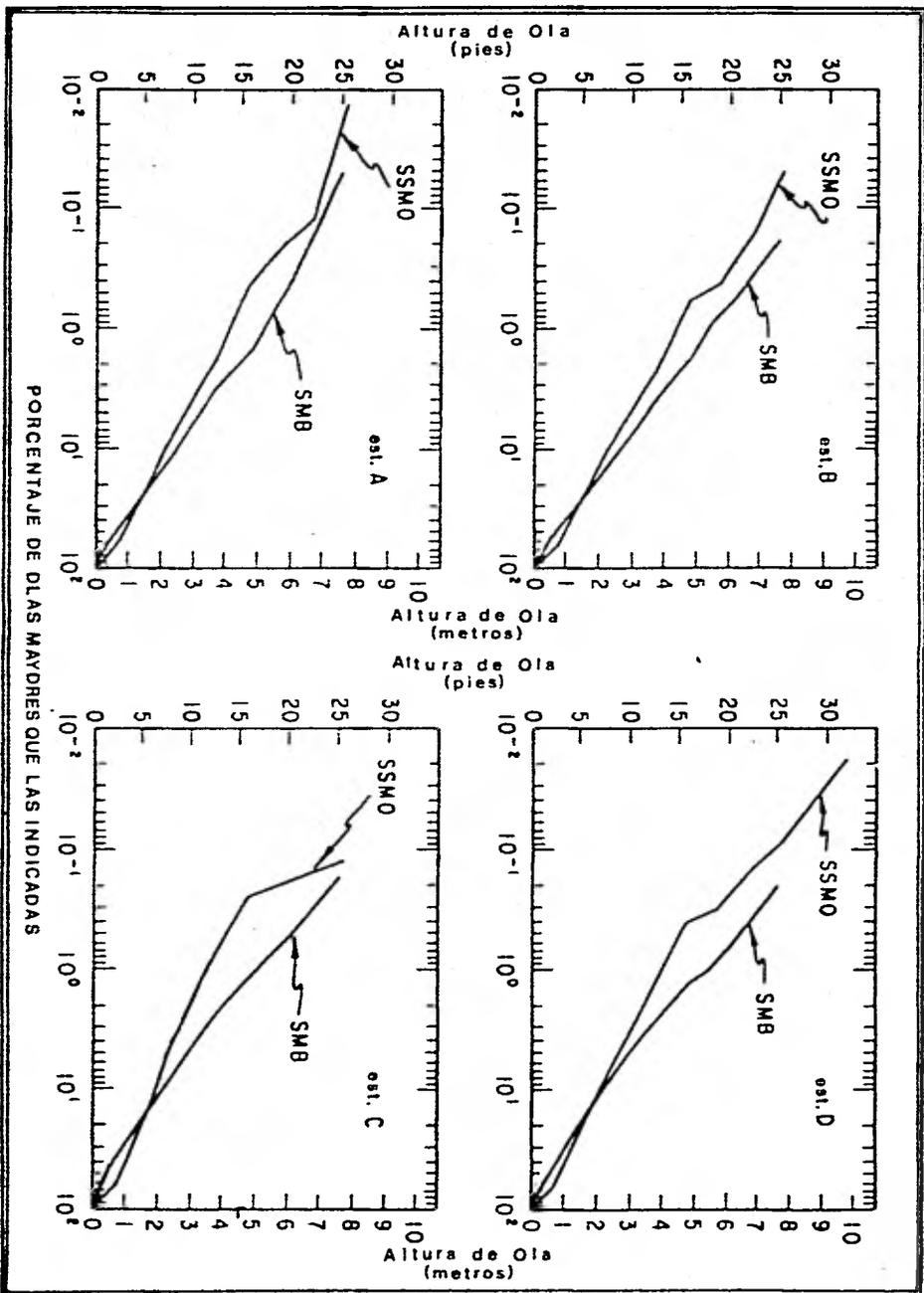


Fig. VII-4. Una comparación de observaciones de embarcaciones y predicción. Basada en observaciones realizadas en los años 1963-1968 y predicciones por el método SMB en los años 1948-1950.

nota que las resultantes del S.M.B. son mayores que los valores observados. Fig. VII-4.

La ecuación para la obtención del viento geostrófico -- (3-1), parece no tener buenos resultados para gradientes de presión muy grandes, ya que con ellas se obtienen velocidades de viento demasiado elevadas.

De los ejemplos resalta el decaimiento que sufre el oleaje para llegar al punto en cuestión, principalmente en la altura, la cual se reduce al 43% de la altura de la ola al salir del fetch.

Para la aplicación de distribuciones probabilísticas, resulta de mucha ayuda contar con datos anuales lo suficientemente amplios para reducir el intervalo dentro del cual puede variar "Y", ya que éste es inversamente proporcional a N (Tabla 4-2).

En lo que respecta a la altura máxima que llegará a la obra, se nota, de la Fig. III-35, que ésta depende principalmente de la profundidad (ds).

La incertidumbre resultante de los métodos de predicción y la escasa información estadística, generalizada para grandes áreas en nuestro País, ha ocasionado que para el diseño de estructuras e instalaciones relacionadas con la resistencia a la acción del oleaje se recurra a la experiencia y buen sentido del proyectista, resultando que en algunos casos se apliquen factores de seguridad o de miedo que conducen a sobrecostos de la infraestructura y en otros a subestimar el fenómeno conduciendo a fallas o colapsos de las obras construídas, en la mayoría de los casos de gran cuantía.

Tal deficiencia ha sido palpable en el diseño de los puertos industriales de Altamira, Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Ostión y Tuxpam, en donde fué necesario instalar estaciones de medición oceanográfica en la cerca nía de los sitios en desarrollo. Sin embargo, el rezago en esta materia es evidente ya que solo se cuenta con información de 1 a 2 años para proyectar instalaciones con vida útil de más de 50 años.

La información recabada beneficiará adicionalmente a la navegación por esas áreas y permitirá obtener pará-

metros de predicción de oleaje extremo; así mismo permite conocer los factores de riesgo de las instalaciones construídas con anterioridad y posibilidades de emergencias en urbes costeras provocadas por el oleaje.

Al concluirse la etapa de diseño, en algunos sitios se han dejado de operar las estaciones oceanográficas en perjuicio de la toma de datos sistemáticos.

En este campo, el rezago tecnológico de México es considerable, ya que de hecho todos los países desarrollados cuentan con un sistema nacional de información oceanográfica en sus costas, proporcionando información instantánea sobre las condiciones de sus mares.

Nuestro País requiere que de inmediato se avoque a estructurar un sistema nacional que opere inicialmente 12 estaciones oceanográficas, fig. VII-5, elevando éstas hasta 50; una vez alcanzado el período de maduración, pudiéndose integrar al proyecto la investigación de otros aspectos que permitan establecer el conocimiento de las características físicas y potenciales de nuestros mares, mediante la integración de un organis-

mo que proporcione información fidedigna y oportuna de las condiciones marítimas de los litorales.

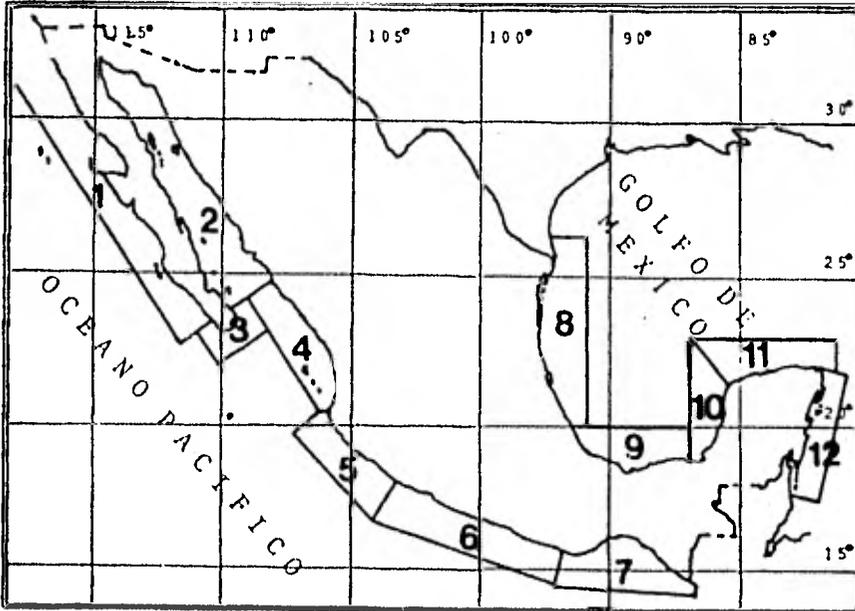


Fig. VII-5. Distribución inicial de Zonas Oceanográficas.

Con tal información se beneficiará grandemente el futuro marítimo y general de México.

## BIBLIOGRAFIA

## B I B L I O G R A F I A

- Marine Outfall Systems*, R. A. Grace, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1978.
- Oceanographical Engineering*, R. L. Wiegel, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1964.
- Coastal Engineering*, R. Silvester, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- Port Engineering*, P. Bruun, Gulf Publishing Company, Houston, Tex., 1973.
- El Océano y sus Recursos*, Academia de Ciencias de la URSS, Editorial Progreso, Moscú, 1979.
- Shore Protection, Planning and Design*, Technical Report Number 4 (TR 4), U. S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington, D. C., 1977.
- Apuntes de Apoyo para la Asignatura Ingeniería Marítima*, J. L. Murillo Bagundo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1982.
- Elements of Meteorology*, G. A. Franceschini, Texas A & M University Short Course in Coastal and Ocean Engineering

Texas, 1971.

-*Curso de Ingeniería de Puertos y Costas*, Tomo I Planificación y Explotación de Puertos / Ingeniería Oceanográfica y de Costas, R. Del Moral Carro y J. M. Berenguer Pérez, Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas "Ramón Iribarren", Dirección General de Puertos y Costas, Madrid, 1980.

-*Elementos de Oceanografía*, G. Chávez Salcedo, Compañía Editorial Continental, México, 1980.

-*Curso de Diseño y Construcción de Rompeolas*, Centro de Actualización Profesional del CICM, A. C., México, 1981.

-*Atlas of Sea and Swell, North Atlantic Ocean*, U. S. Naval Oceanographic Office, Washington, D. C., 1969.

-*Ocean Waves Statistics*, British Meteorological Office, London, 1967.

-*Normal Wave and Tide Conditions and Storm Wind, Tide -- and Wave Characteristics: Aproximatlely 18°17'N, 94°35' W, 82 Foot Mean Low Water Dept, Offshore Coatzacoalcos,*

México, A. H. Glenn and Associates, New Orleans, 1980.

-*Cartas de Previsión del Tiempo*, Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1955-1980.

-*Tablas de Predicción de Mareas*, Instituto de Geofísica Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1980.

-*Manual de Diseño de Obras Civiles*, Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, Comisión Federal de Electricidad, México, 1969.

-*Engineering Mathematics*, J. J. Tuma, Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1979.