

50  
24.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**CAMPUS "ARAGON"**

**"PROPUESTA TEORICA DE LAS OBRAS DE  
PROTECCION PARA UN PUERTO EN  
VERACRUZ, VERACRUZ"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
**P R E S E N T A :**  
**S A U L S A N C H E Z G A R C I A**

**SAN JUAN DE ARAGON, EDO. MEX.**

**1997.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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  
ARAGÓN DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

SAÚL SÁNCHEZ GARCÍA  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 7 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. VALENTE TORRES ORTIZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "PROPUESTA TEÓRICA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PARA UN PUERTO EN VERACRUZ, VERACRUZ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México., 12 de septiembre de 1995  
EL DIRECTOR

Mari CLAUDIO C. MERRIFELD CASTRO



ccp Jefe de la Unidad Académica.  
ccp Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
ccp Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/ta.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

UNIDAD ACADÉMICA

En presencia de DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 14 de abril del año en curso, por la que se comunica que el alumno SAÚL SÁNCHEZ GARCÍA, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "PROPUESTA TEÓRICA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PARA UN PUERTO EN VERACRUZ, VERACRUZ", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 15 de abril de 1997  
EL JEFE DE LA UNIDAD

  
LIC. ALBERTO BARRA ROSAS

cc p Asesor de Tesis.  
cc p Interesado.

AIR'IIa.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN-UNAM  
JEFATURA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
Of. No. JCIC/145/97.

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA  
P R E S E N T E

Por medio de la presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional de el alumno: SAÚL SANCHEZ GARCÍA, con el tema de tesis: "PROPUESTA TEÓRICA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PARA UN PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ".

<b>PRESIDENTE</b>	<b>ING. MARIDEL ZÁRATE MORALES</b>	<b>14-05-90</b>
<b>VOCAL</b>	<b>ING. JESÚS I. HEREDIA DOMÍNGUEZ</b>	<b>16-05-90</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>ING. DORA LUZ AVILA ARZANI</b>	<b>03-06-91</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>ING. VALENTE TORRES ORTIZ</b>	<b>02-06-92</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEÓN</b>	<b>16-03-93</b>

Quiero subrayar que el director de tesis es el **ING VALENTE TORRES ORTIZ**, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de ésta Escuela.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., abril 23 de 1997.  
EL JEFE DE CARRERA

M. en I. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ



c.c.p. ING. MANUEL MARTÍNEZ ORTIZ, Jefe del Departamento de Servicios Escolares.  
- ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEÓN, Secretario Técnico de la Carrera de Ingeniería Civil.  
- ING. VALENTE TORRES ORTIZ, Asesor de Tesis.  
- Comité de Tesis.  
- Interesado.  
DVV\*onc

## **A MIS PADRES:**

*Angel Sánchez Ponce y Albina García Martínez*

Con mucho cariño y respeto, que con gran sacrificio me ayudaron y apoyaron en los momentos más críticos de su vida, les doy las gracias, para ellos con mucho amor les dedico esta obra.

Y gracias a Dios le doy porque me fue posible realizarla y terminarla.

Papá, Mamá no hay mejor herencia para su hijo que darle una carrera, por eso y por mucho más que me han dado, y no hay amor en el mundo que lo iguale gracias.

Su hijo que los quiere y los adora:

**Saúl Sánchez García**

## **AGRADECIMIENTO**

A todos y cada uno de mis hermanos Héctor, Angélica y Mayeli quiero dárles las gracias por todo el apoyo recibido durante mis estudios, ya que sin ellos no hubiera tenido el apoyo moral para continuar.

A mi asesor Valente Torres Ortiz que por su dedicación, entusiasmo y sugerencias que me ayudaron y me permitieron realizar esta obra. Y por último deseo agradecer a mis profesores, compañeros y amigos por la paciencia que tuvieron conmigo.

**Sadi Sánchez García**

## INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>II DATOS OCEANOGRÁFICOS</b>	
II. 1 Oleaje .....	7
II. 1.1 Descripción .....	7
II. 1.2 Generación .....	11
II. 1.3 Teoría del oleaje .....	14
II. 1.4 Teoría lineal de pequeña amplitud ( o de Airy ) .....	18
II. 2 Mareas .....	19
II. 3. Corrientes .....	28
II. 3.1 Corrientes oceánicas .....	28
II. 3.2 Corrientes por mareas .....	30
II. 3.3 Corrientes producidas por oleaje .....	31
II. 3.4 Meditación .....	32
II. 4 Vientos .....	35
II 4.1 Elementos que caracterizan al viento .....	37
II 4.2 Fuerzas de generación .....	38
II 4.3 Aparatos de meditación .....	41
II 5 Batimetría .....	42
II 5.1 Generalidades .....	42
II 5.2 Equipos batimétricos .....	43
II 5.3 Localización planimétrica de la unidad de sondeo o embarcación ...	44



<b>III ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>III 1.1. Obras paralelas a la playa .....</b>	<b>45</b>
<b>III 1.2. Obras perpendiculares a la playa .....</b>	<b>46</b>
<b>III 1.3. Obras aisladas o fuera de la costa .....</b>	<b>50</b>
<b>IV REFRACCIÓN DE OLEAJE .....</b>	<b>51</b>
<b>IV 1.1 Calculo de la refracción .....</b>	<b>51</b>
<b>IV 1.2 Análisis de resultados .....</b>	<b>62</b>
<b>V ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS .....</b>	<b>71</b>
<b>V 1.1 Comparación de alternativas .....</b>	<b>71</b>
<b>V 1.2 Proyecto de obra .....</b>	<b>82</b>
<b>V 1.3 Diseño de las obras de protección .....</b>	<b>95</b>
<b>VI BANCO DE MATERIALES .....</b>	<b>109</b>
<b>VI 1.1 Suministro de materiales .....</b>	<b>111</b>
<b>VII CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>VIII BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>117</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>118</b>
<b>SISMOLOGÍA .....</b>	<b>120</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

Desde el origen de la vida humana, el hombre siempre ha estado en contacto con el agua, lo que ha creado la necesidad de conocer más ampliamente el comportamiento de las masas de agua para obtener de ello un mejor aprovechamiento, para esto ha diseñado hoy en día técnicas más especializadas para su estudio, siendo a través del mar una vía que permite movilizar grandes volúmenes de carga de altura y cabotaje a un costo más económico que los otros medios de transporte.

Para tener un adecuado aprovechamiento de la vía marítima es necesario conocer los fenómenos oceanográficos que afectan tanto las embarcaciones como las estructuras, entre dichos fenómenos que se deben conocer para el diseño de las obras de protección están, el oleaje, la batimetría, las mareas, etc. El primero de ellos debido a su incidencia constante, siendo el principal efecto a considerar, ya que tiene gran influencia en la estabilidad de las obras exteriores, así como, en la agitación interior en los puertos y también en la evolución de las playas entre otros aspectos.

Por lo tanto el oleaje debe ser correctamente interpretado para el diseño óptimo de toda estructura marítima. Para llevar a cabo lo anterior, primeramente deben conocerse sus características principales, las cuales se mencionan durante el desarrollo del tema.

Una forma de visualizar la importancia de este fenómeno en el diseño

**de las obras de protección, es cuando el oleaje penetra en un recinto parcialmente cerrado, ya que éste sufre cambios en su dirección y altura provocando los efectos de difracción y reflexión principalmente.**

**Por otra parte, en el análisis del fenómeno de la refracción del oleaje, se debe destacar la importancia que tiene el cálculo en aguas reducidas, donde se construye la mayoría de las estructuras costeras, para así realizar obras con un mínimo de costo tanto de construcción como de mantenimiento.**

**Con los resultados obtenidos en el análisis de la refracción del oleaje, se pueden diseñar alternativas más óptimas de las obras de protección.**

**Para tomar en cuenta lo antes señalado, es necesario que se tenga plenamente localizados los bancos de material para realizar un análisis de costo de transporte, especialmente en el material para la coraza al área de la obra.**

**El Puerto de Veracruz localizado al Suroeste del Bajo de la Gallega, en el espacio de agua comprendido entre sierra firme y la Isla de San Juan de Ulúa, se ha venido desarrollando de acuerdo con la necesidad de crecimiento del país, encontrándose actualmente su infraestructura portuaria al límite de su capacidad de funcionamiento y operatividad en razón de las dimensiones y profundidades de sus dársenas que llega a escasos 11 m. y que limitan el acceso a embarcaciones con mayores calados.**

**Este puerto ha sido el que asegura el comercio internacional de México**

con Estados Unidos, Europa, África, América Latina y en general con los diferentes países con los que nuestro país tiene intercambio comercial de alguna importancia, razón por la cual dentro del contexto nacional Veracruz se ha especializado en el manejo de carga general y granel agrícola, llegando a manejar un 22% de la carga general total que se movió por el país y hasta el 27% del movimiento de granel agrícola a través de los puertos.

## II-DATOS OCEANOGRÁFICOS

### II.1 OLAJE

#### II. 1.1 DESCRIPCIÓN

Si se para una persona en la playa y observa el mar, podrá ver que arriban a ella olas de diversos periodos y alturas; horas después, en la misma playa, el observador notará que la línea de costa ha retrocedido o avanzado, con respecto a la primera posición vista, debiéndose ello al efecto de la variación del nivel del mar inducida por las mareas, mismas que tienen un largo periodo relativo y no son perceptibles en pequeños lapsos de observación. Las olas, por el contrario, no han variado prácticamente en nada y pueden distinguirse con tan sólo unos instantes de observarlas; ello es debido a que son de "corto periodo".

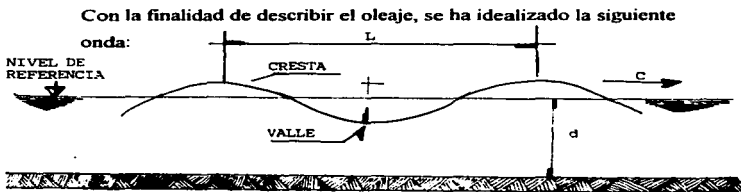


FIG. 2.1. OLA IDEALIZADA

La altura de ola  $H$  se define como la distancia vertical entre la cresta y el valle o seno de una ola determinada; por su parte la longitud  $L$  es la distancia horizontal medida entre dos crestas o valles consecutivos. Otra característica importante de la onda de oleaje está dada por su periodo  $T$ , el cual se define como el tiempo que tardan en pasar por un punto fijo dos crestas o dos valles consecutivamente; la celeridad  $C$  de la onda, es la velocidad con la cual se desplaza la ola, es decir  $C = L/T$ .

Para definir las características del perfil de una ola, se utiliza la llamada relación de esbeltez  $\gamma = H/L$ ; por su parte, la frecuencia del oleaje queda determinada por el inverso del periodo,  $W = 1/T$ .

Las ondas en el océano son de una amplia gama de periodos; se presenta un diagrama en donde aparecen los principales tipos de ondas en el océano en relación a su periodo y los agentes que los producen. Aparecen en la figura, 2.1 también, las energías correlativas a cada tipo de onda, la cual como se verá posteriormente es proporcional a  $H^2$ .

En la tabla 2.1 se observa que la onda de capilaridad es la que tiene el periodo más corto, siendo éste menor de 0.07 seg, con longitud menor de 1.7 cm, y altura máxima entre 1 y 2 mm; la fuerza principal en este tipo de ondas es la tensión superficial. En todas las demás ondas la principal fuerza de restablecimiento es la gravedad, denominándose en general "ondas de gravedad".

También se observa que la onda que tiene una mayor concentración de

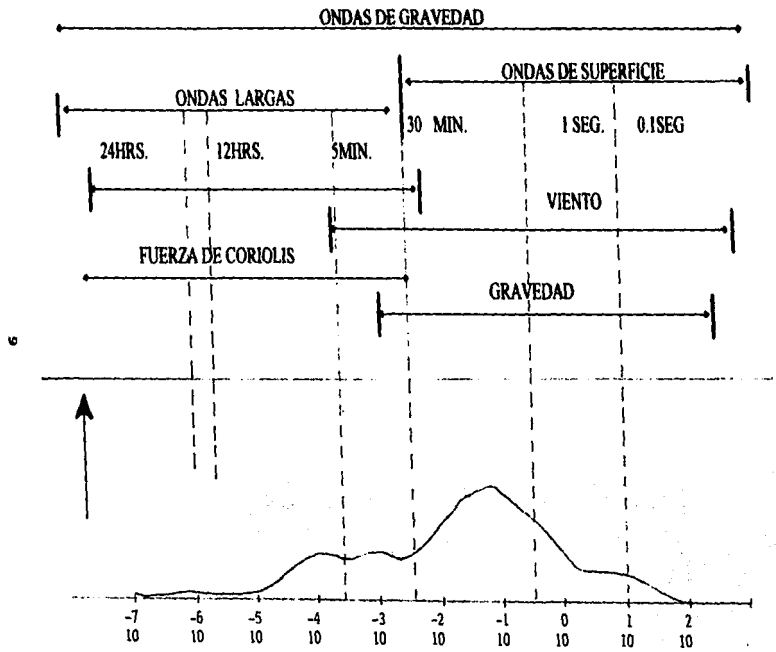


Figura 2.2 Diagrama Principal de Tipo de Onda en Relación a su periodo

Tabla 2.1 Clasificación de las Ondas de Acuerdo al Período

10

NOMBRE	PERIODO T	LONGITUD L	ALTURA H
CAPILARES	<0.1 seg.	1 - 7 cm	1 - 2 mm
ULTRAGRAVEDAD	0.1 - 1 seg.	cm	pequeña
GRAVEDAD	1-20 seg.	Metros a cientos de metros	cm a 15 cm.
INFRAGAVEDAD	30 seg.-5 min	100 - 200 m	pequeña

(SEICHES)



**energía es el oleaje producido por el viento, el cual tiene periodos máximos de alrededor de 20 seg , habiéndose registrado alturas máximas del orden de 30 m.**

Las ondas de largo periodo se asocian a los Tsunamis, generados por temblores ocurridos en el océano o por la erupción de algún volcán submarino (periodo de algunos minutos hasta cerca de una hora); onda o marea de tormenta, generada por este tipo de perturbaciones meteorológicas; y la onda de marea astronómica con periodos de hasta más de 12 hrs.

### **II.1.2 GENERACIÓN.**

Considérese una superficie líquida en reposo, sobre la cual en un instante dado empieza a soplar un viento de régimen turbulento con velocidad media  $\bar{v}$ . Debido a que el régimen es turbulento, la velocidad  $\bar{v}(Z)$  sobre una vertical variará en módulo y dirección, originando sobre la velocidad media velocidades de fluctuación ( $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$ ), que son aleatorias y cuyo promedio a lo largo del tiempo es cero.

Las velocidades de fluctuación darán origen sobre la superficie líquida a fluctuaciones de tensión (presión y esfuerzo cortante), que provocarán ondas circulares que se propagan radialmente desde el punto de generación.

Los remolinos de turbulencia serán transportados por el viento medio  $u$ , correspondiente a una altura ( $Z$ ) dentro de la capa límite, dependiendo de su tamaño de esta altura. Como consecuencia, la distribución de velocidades de

fluctuación y, por lo tanto la de fluctuaciones de tensión, comprenderá una amplia gama de frecuencias ( $W = 2\pi / T$ ) y de números de onda ( $u = 2\pi / L$ ).

Siendo los remolinos de turbulencia transportados por el viento medio  $\bar{u}$  ( $Z$ ), siempre que ésta coincida con la celeridad de la onda al igual que en los periodos, se producirá una resonancia y como consecuencia la energía de la onda crecerá.

A la zona en donde está actuando el viento se le denomina FETCH (figura 2.3); si se considera el fetch dividido en una serie de celdas, en cada una de las cuales actúa el viento, se generarán ondas elementales cuya altura, frecuencia, fase y dirección serán aleatorias e independientes y cuya interferencia dará lugar a una disposición caótica de la superficie líquida, conocida como "mar de viento" u "oleaje local" o bien empleando la palabra inglesa universalmente aceptada "Sea".

Para este estado del mar la superficie líquida es sumamente complicada, formada por una serie de protuberancias que nacen y desaparecen continuamente. Los registros de niveles del mar muestran la más variada gama de periodos y amplitudes, sucediéndose sin orden aparente olas grandes y pequeñas.

La disposición descrita se simplifica al aumentar la "edad" del oleaje y fundamentalmente al abandonar éste su zona de generación. Esto se debe a dos fenómenos denominados "soldadura" y "filtrado" de las ondas

**componentes.**

Las observaciones en la naturaleza y experimentos de laboratorio, demuestran que las ondas de periodos cercanos se sueldan en largas crestas de onda, cuya longitud depende del ángulo ( $\theta_i - \theta_j$ ) de incidencia de las ondas  $i, j$ .

Este fenómeno de soldadura va simplificando paulatinamente al oleaje local, tendiendo a concentrar la energía en bandas. Por tal motivo los espectros de energía del oleaje de cierta edad, que serán tratados posteriormente con mayor amplitud, presentan siempre concentraciones de energía para ciertos periodos.

Las ondas de mayor periodo, concentrada su energía por el fenómeno de soldadura sobre una banda muy estrecha de ellos, se adelantan al grueso del temporal. Por el contrario las ondas de corto periodo se retrasan cada vez más del temporal.

El grueso del oleaje, simplificado por los fenómenos de soldadura y filtrado, recibe el nombre de "oleaje de fondo" y "oleaje distante" y en inglés "Swell". Se presentan normalmente en grupos de olas, constituidos por algunas olas (de dos a cuatro) de gran altura relativa, seguidas de otras más pequeñas. El periodo de estas olas es variable de acuerdo a la longitud del fetch, la velocidad del viento y su duración o persistencia.

El oleaje distante o Swell se hace muy acusado sobre las plataformas costeras, especialmente en profundidades reducidas en donde el efecto de

refracción obliga a las ondas al mecanismo de soldadura.

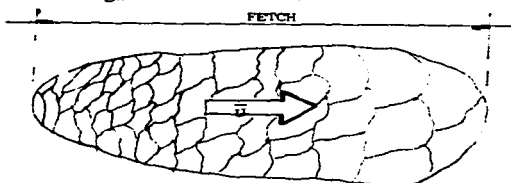


FIG. 2.3. ZONA DE GENERACION FETCH

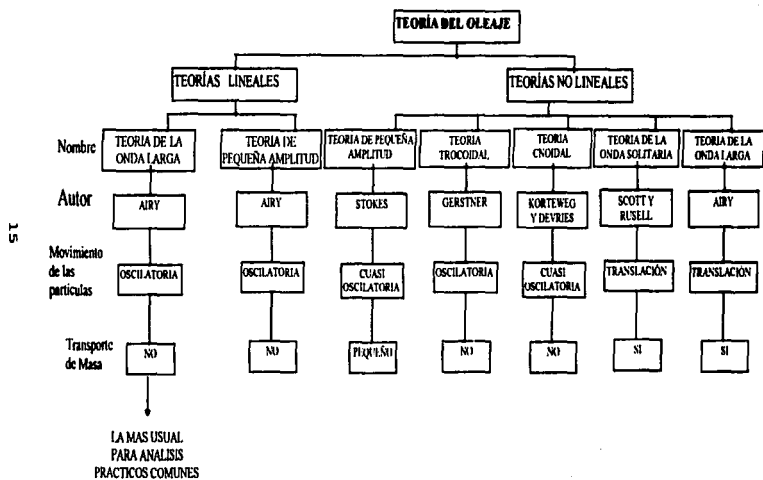
A pesar de su mayor simplicidad, tampoco el oleaje distante se puede describir por su función analítica, ya que la ritmicidad de los grupos no implica que al cabo de un tiempo se reproduzca otro igual.

### II.1.3 TEORÍA DEL OLAJE.

#### TEORÍAS EXISTENTES.

Como se ha visto, el oleaje se caracteriza por ser irregular y aleatorio, además de desarrollarse prácticamente en tres dimensiones; por ello su descripción matemática presenta ciertas dificultades. Sin embargo, se han desarrollado varias teorías para analizar matemáticamente el fenómeno, mismas que han ido evolucionando desde que hicieron su aparición. (ver

TABLA 2.2 TEORIA DEL OLEAJE (HORIKAWA)



## **TABLA 2.2**

La teoría más clásica, desarrollada por Airy en 1845, se denomina "teoría lineal de pequeña amplitud", siendo su importancia notable debido a que se ajusta bastante bien al comportamiento real de las olas cuando se encuentran en profundidades infinitas, siendo, además, de fácil aplicación.

En 1802 Gerstner desarrolló la "teoría trocoidal" que fue la primera en considerar ondas de amplitud finita; para describir el perfil de la onda se considera adecuada, dejando mucho que desear en cuanto al movimiento orbital de las partículas. Por su parte Stokes en 1880 estableció una teoría, también de amplitud finita, la cual en sus aproximaciones de 3° y 4° orden describe adecuadamente el oleaje en mar profundo.

Todas las teorías mencionadas no presentan validez cuando se trata de profundidades reducidas ya que no consideran la influencia del fondo del océano sobre el perfil de las ondas. La teoría de Korteweg o cnoidal merece especial mención en este sentido ya que es la que mejor define el funcionamiento ondulatorio en profundidades someras, aunque su principal obstáculo lo representa la dificultad práctica para su aplicación.

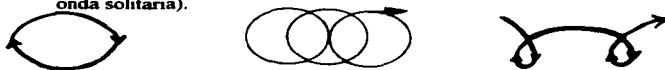
La teoría cnoidal tiene su límite de aplicación cuando se acerca la rotura del oleaje, en cuyo caso la teoría de la onda solitaria ofrece una buena aproximación y su manejo es relativamente sencillo.

En función del movimiento de las partículas líquidas las teorías se pueden agrupar en tres tipos (figura 2.4) :

a) Oscilatorias: la partícula líquida describe órbitas cerradas (por ejemplo trocooidal).

b) cuasi-oscilatorias: órbitas no cerradas con ligero movimiento neto en algún sentido o con pequeños desplazamientos de mesa (por ejemplo teoría cnoidal).

c) De translación: el movimiento orbital es una translación con transporte de mesa; fenómeno típico de una ola en rotura (teoría de la onda solitaria).



OSCILATORIA CUASI-OSCILATORIA DE TRANSLACION

FIG.2.4 MOVIMIENTO DE LAS PARTICULAS

Las teorías también pueden caracterizarse en base a los perfiles que describen las ondas en cada una de ellas; en la figura 2.5 se presentan algunos ejemplos.

SENOIDAL

TROCOIDAL

SOLITARIA

CNOIDAL



FIG. 2.5 PERFILES DE DIVERSOS TIPOS DE ONDAS

## **II.1.4 TEORÍA LINEAL DE PEQUEÑA AMPLITUD (O DE AIRY)**

Como se mencionó, la teoría de Airy es la que mayor aplicación tiene en los casos prácticos comunes. Las hipótesis de partida de esta teoría son las siguientes:

- a) el fluido es homogéneo e incomprensible; por lo tanto la densidad  $\rho$  es constante.
- b) se desprecia la tensión superficial ( $k = 0$ )
- c) se desprecia el efecto de Coriolis ( $f_c = 0$ )
- d) la presión en la superficie libre es uniforme y constante ( $P_o = \text{cte}$ ).
- e) el fluido es ideal; es decir se desprecia la viscosidad ( $\nu = 0$ ).
- f) la onda considerada no está relacionada con ningún otro tipo de movimiento del agua.
- g) el fondo es horizontal, fijo e impermeable; la velocidad vertical en el fondo vale cero ( $w_d = 0$ )
- h) la amplitud de la onda es pequeña en relación a la profundidad y su forma invariable en el tiempo y espacio ( $H \ll d$ ;  $H = \text{cte}$ ).



## **II.2 MAREAS**

Son el resultado de la acción de cuerpos celestes sobre la superficie líquida de la tierra, dando lugar con ello a los movimientos de grandes masas de agua o la oscilación periódica del nivel.

El primer acercamiento serio al fenómeno de la marea fue hecho por Newton en 1687, en el cual mostró la atracción gravitacional entre el sol, la luna y la tierra, y fue Newton quien propuso la teoría estática. En 1799, Laplace presentó más detalles y el panorama fue esclareciéndose poco a poco hasta llegar a la teoría Dinámica.

Para su estudio se subdivide en tres tipos:

- a) **Marea astronómica.**
  - b) **Marea de tormenta.**
  - c) **Marea de viento.**
- 
- a) **Marea Astronómica.**

Esta marea como su nombre lo indica está regida por la influencia de los astros basándose en la segunda Ley de Newton.

Las mareas astronómicas a su vez se clasifican en:

- 1) **Mareas Diurnas.**
- 2) **Mareas Semidiurnas.**
- 3) **Mareas Mixtas.**

Dependiendo del tipo de marea (diurna, semidiurna o mixta) los planos de marea que se generan son<sup>1</sup>:

**Altura máxima registrada**: nivel más alto registrado en la estación debido al efecto de un ciclón combinado, probablemente, con el de la marea astronómica.

**Pleamar máxima registrada (PMR o HHW\*)**: nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también a que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.

**Nivel de pleamar media superior (NPMS o NHHW\*)**: promedio de la más alta de las dos pleamares diarias, durante el período considerado en la estación (mareas semidiurna y mixta).

**Nivel de pleamar media (NPM o MHW\*)**: promedio de todas las pleamares durante el período considerado en cada estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la pleamar más alta diaria, lo que equivale a que la pleamar media en este caso sea lo mismo que la pleamar media superior.

**Nivel medio del mar (NMM o MSL\*)**: promedio de las alturas horarias

---

<sup>1</sup> Definiciones usadas por el Instituto de Geofísica.

\* Siglas en inglés.

durante el período registrado en la estación.

**Nivel de media marea (MM o MTL\*)**: plano equidistante entre la pleamar media y la bajamar media; es decir se obtiene promediando éstos dos valores.

**Nivel de bajamar media (NBM o MLW\*)**: promedio de todas las bajamares durante el período considerado en la estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la bajamar más baja diaria, lo que equivale a que la bajamar media en este caso sea lo mismo que la bajamar media inferior.

**Nivel de bajamar media inferior (NBMI o MLLW\*)**: promedio de la más baja de las dos bajamares diarias, durante el período considerado en la estación (marea semidiurna o mixta).

**Bajamar mínima registrada (BMR o LLW\*)**: nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.

**Altura mínima registrada**: nivel más bajo registrado en la estación debido al efecto de un tsunami o ciclón combinado, probablemente, con el de la marea astronómica.

**b) Marea de Viento.**

Se denomina marea de viento al efecto que se produce en la onda de marea al propagarse en un estrecho o en un golfo que se angosta en su extremo. Una clara visión de este tipo de marea es la que se presenta en el golfo de California, en donde la amplitud de la marea en la parte norte es bastante mayor que la correspondiente provocada por la comunicación con el Océano Pacífico.

**c) Marea de Tormenta.**

El término de tormenta corresponde a la marea observada durante un huracán, en consecuencia, el procedimiento de análisis normal presupone el cálculo de la sobreelevación del nivel del mar producida por la tormenta y posteriormente se establece, como condición de diseño el nivel de marea astronómica que se desee tomar en cuenta.

En el caso particular, la sobreelevación de tormenta se dará sobre el

nivel de pleamar media superior en los meses de junio-octubre y para condiciones críticas máximas, se estimará esta sobreelevación sobre las pleamares máximas de cada uno de los meses analizados.

En general, la sobreelevación por tormenta debe considerarse integrada por dos efectos, el primero es el causado por el esfuerzo de corte del viento sobre la superficie, y el segundo por la reducción de presión atmosférica sobre la normal.

Es frecuente considerar la onda de marea de tormenta como una onda cuya longitud es del orden de los 180 km. y periodo que oscila entre 8 y 24 hrs. De aquí entonces, podemos respaldar que la superposición de sobreelevación máxima con pleamar media superior tiene una alta probabilidad de ocurrencia y en consecuencia es una condición crítica normal.

Para el cálculo de la sobreelevación por tormenta se puede aplicar el método de Bretschneider en la cual, la sobreelevación  $h$  se integra por:

$$h = h_1 + h_2$$

donde:

$h$  = Sobreelevación de tormenta.

$h_1$  = Sobreelevación debida a la reducción de presión atmosférica.

**h<sub>2</sub> = Sobreelevación debida al esfuerzo de corte del viento.**

**Para el cálculo de estos efectos, las expresiones a emplear son:**

$$h_1 = 1.14 \Delta\rho_0 [1 - e^{-R/r}]$$

**donde:**

**$\Delta\rho_0$  = ( $P_N - P_0$ ) Reducción de la presión atmosférica.**

**$P_0$  = Presión atmosférica en el centro del huracán.**

**$P_N$  = Presión atmosférica normal.**

**1.14 = Factor de conversión de pulgadas de mercurio a pies de agua.**

**R = Radio del viento máximo, y es la distancia radial a desde el centro del huracán hasta la zona de vientos máximos.**

**r = La distancia radial medida desde el centro del huracán hasta el punto en consideración.**

$$h_2 = \sum h_i \quad h_i = d t \left[ \sqrt{\frac{2kV^2 \Delta_c}{g(dt)^2} + 1} - 1 \right]$$

**donde:**

**g = aceleración de la gravedad.**

**V = velocidad absoluta del viento.**

$U_x$  = componente de la velocidad del viento en la dirección de cálculo.

$\Delta_x$  = incremento de distancia horizontal en la dirección de cálculo.

$K$  = parámetro de esfuerzo, que en caso de plataforma continental toma el valor de  $3 \times 10^{-6}$ .

A continuación se muestran los tipos de mareas antes mencionados, aclarando que sólo se contemplaron las mareas astronómicas y las mareas de tormenta por ser las más representativas para la zona de la antigua, Ver.

Si las tablas 2.3 y 2.4, muestran los planos de marea referidas al nivel medio del mar y los niveles de sobre elevación de tormenta.

La figura 2.6 muestra la gráfica de probabilidad de excedencia del nivel de marea.

-----  
**PLANOS DE MAREA REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DEL MAR**  
 -----

Tabla 2.3

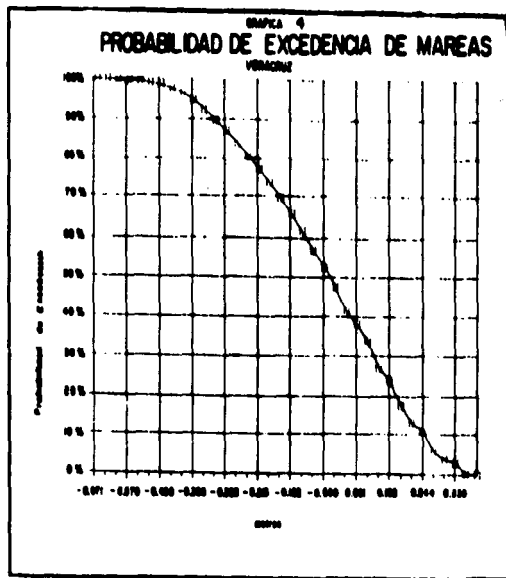
	<b>PIES</b>	<b>METROS</b>
Pleamar máxima Registrado	3.048	0.929
Nivel de pleamar Media	0.726	0.221
Nivel Medio del Mar	0.000	0.000
Nivel de media Marca	-0.131	-0.040
Nivel de Bajamar Media	-0.988	-0.301
Bajamar mínima Registrada	-2.552	-0.778

-----  
**NIVELES DE SOBREELEVACION DE TORMENTA**  
 -----

Tabla 2.4

<b>Tr (años)</b>	<b>Probabilidad de existencia</b>	<b>Sobreelevación (m.)</b>
10	0.10	1.19
20	0.05	1.39
30	0.03	1.50
50	0.02	1.64
100	0.01	1.83
200	0.00	1.02





## **II.3 CORRIENTES**

En general se pueden definir a las corrientes como el desplazamiento de una masa de agua, determinadas por dos características: dirección y velocidad.

La dirección de una corriente es el rumbo hacia el cual se dirigen; es decir, la forma de designar la dirección de una corriente es contraria a la que se utiliza en los vientos, ya que en éstos se considera de dónde sopla y no hacia dónde sopla. La velocidad de una corriente se expresa tradicionalmente en nudos, cuando se trata aspectos relativos a la navegación (1 nudo = 1 milla marítima por hora = 1,853 m/h), o bien en m/seg.

Las corrientes para su estudio se pueden dividir en cuatro apartados: corrientes oceánicas, corrientes inducidas por el viento, corrientes por marea y corrientes en la costa producidas por oleaje. Aunque en relación a su ámbito pueden clasificarse en corrientes locales y generales, en función de su relativa área de influencia, resultando obvia su diferenciación.

### **II.3.1 CORRIENTES OCEÁNICAS.**

Las causas que generan las corrientes marinas son esencialmente dos: viento y gradiente.

El viento como elemento generador opera por efecto del arrastre de las moléculas superficiales, las cuales a su vez, por rozamiento actúan sobre las

moléculas más profundas, según sea la intensidad y persistencia del viento y, también, dependiendo de que haya o no elementos que se opongan al mantenimiento del flujo de aguas. Por lo tanto, este tipo de corrientes se puede decir que en general son prácticamente superficiales y de poca intensidad. Este tipo de corrientes coinciden en dirección con los vientos generales o planetarios (alisios y contralisios, etc.) y tienen una dirección más o menos constante en el transcurso del año.

El gradiente como elemento productor de las corrientes está determinado por las diferencias de densidad de las masas de agua, la cual es función de la temperatura y la salinidad. Es por ello que algunas corrientes presentan componentes en el plano vertical, que implica el transbase de masas de agua de uno a otro plano potencial o estrato.

Una serie de elementos circunstanciales contribuyen a matizar a las corrientes cualquiera que sea su origen. La configuración litoral y la topografía del fondo son dos de estos elementos; asimismo, influye la inercia de la misma corriente, una vez generada.

La aportación de agua dulce puede ser también un elemento característico de un esquema de corrientes, tratándose de corrientes que involucren una gran cantidad de masa de agua: la fuerza de Coriolis es otro agente que define un determinado comportamiento.

Si se atiende a la temperatura de las aguas, las corrientes se clasifican como calientes y frías y basan su importancia fundamental en el hecho de

que determinan ciertos comportamientos de orden biológico, en relación a la presencia de especies vegetales y animales.

### **II.3.2 CORRIENTES POR MAREAS.**

La elevación y descenso periódico del nivel del agua genera movimientos notables en las masas líquidas, sobre todo en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida (estuarios, bahías, entradas a puerto, desembocaduras, etc.) y genera las llamadas corrientes de marea.

A su vez, este tipo de corrientes se subdividen en: "**corrientes rotatorias**", cuando su rumbo varía escalonadamente conforme la rosa de los vientos, en uno u otro sentido, a medida que la marea progresa; "**corrientes pendulares**", cuando el sentido de la corriente cambia según el estado de la marea (flujo o reflujo); y "**corrientes hidráulicas**", caracterizadas por el efecto de represamiento de las aguas producido por una especial configuración de la costa.

La característica primordial de este tipo de corrientes es su periodicidad que puede ser diurna o semidiurna-mixta, según sea la marea astronómica. En las entradas la corriente de una marea fluye en dos sentidos; cuando está creciendo hacia la zona interna (flujo) y cuando está descendiendo hacia mar adentro (reflujo); las velocidades máximas obtenidas en estas zonas normalmente están defasadas respecto a los momentos de

presentación de las pleamares o bajamares.

Las características de las corrientes de marea, como es fácil de comprender, cambian de un lugar a otro, dependiendo en primer término del carácter de la marea y en función también de la profundidad y configuración del terreno donde se desarrolla. Por lo tanto no son recomendables las expresiones analíticas para su cálculo, haciéndose necesario su medición directa.

Los efectos producidos por las corrientes de marea interesan al ingeniero, por lo general, en las zonas inmediatas al litoral; en zonas de mar profundo estas corrientes mantienen una rotación periódica por causa de la fuerza del Coriolis con velocidades relativamente bajas. Por el contrario, en las proximidades de las costas y especialmente en las zonas estrechas, como las antes mencionadas, las velocidades pueden llegar a ser bastante considerables dando lugar a problemas de diversa índole, como pueden ser el transporte de sedimentos, accesos de puertos, transporte de contaminantes, etc.

### **II.3.3 CORRIENTES PRODUCIDAS POR OLEAJE.**

Como se verá en el capítulo 3 que trata sobre el fenómeno del oleaje, para ciertos valores de la profundidad del fondo en relación a la altura de la ola, o bien por su relación de esbeltez ( $r = H/L$ ), ésta tiende a romper, modificando sustancialmente las características del transporte de masa

**líquida y, en consecuencia, provocando corrientes.**

**La importancia de las corrientes producidas por el oleaje radica fundamentalmente en el hecho de que son las que originan y regular, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros.**

**En función de la dirección de su movimiento estas corrientes se clasifican en dos tipos:**

- a) corrientes normales a la costa.**
- b) corrientes paralelas a la costa.**

**Son generadas por la necesidad de evacuación del volumen de agua sobrante que ha sido empujado y acumulado contra la playa en el estrán debido a la acción del oleaje y del viento.**

## **II. 3.4 MEDICIÓN.**

**Para la medición de las corrientes marinas, se pueden emplear diferentes dispositivos y aparatos. Uno de los más sencillos y a la vez más utilizados es el flotador de deriva que se muestra en la figura 2.7, el cual permite conocer la velocidad de las corrientes a la profundidad deseada, así como la dirección o tendencia de la misma; para tal efecto, los flotadores una vez soltados en el agua se posicionan desde sierra a cada determinado tiempo, en base a puntos conocidos de una poligonal playera.**

Los aparatos para medición se denominan corrientómetros y pueden ser del tipo mecánico o electrónico; estos aparatos se introducen al agua desde una lancha y registran la velocidad en base a una propela calibrada y un contador de revoluciones.

Existen otros corrientómetros electrónicos más sofisticados, los cuales operan fondeados en el fondo del mar, recuperándose periódicamente el cassette en donde graban la información registrada de velocidad y dirección de las corrientes.

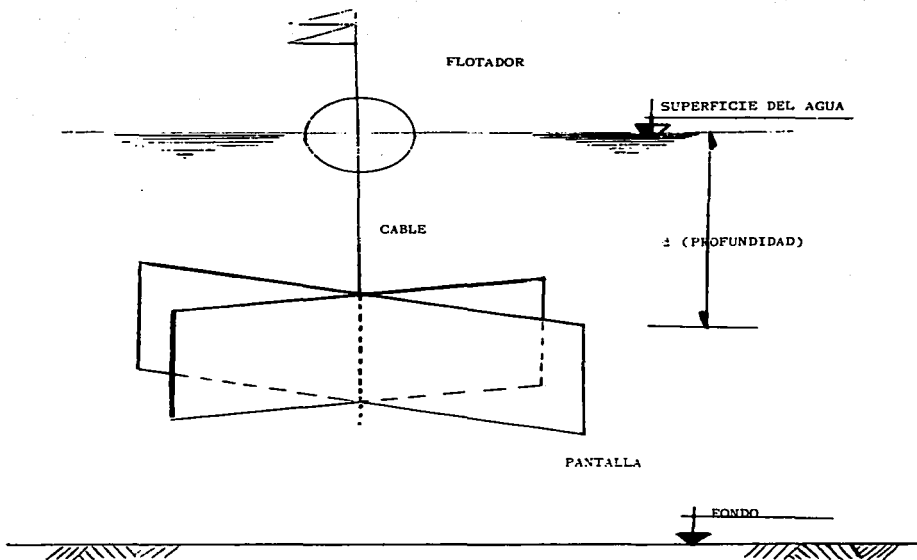


FIGURA 2.7 FLOTADOR DE DERIVA



## **II.4 VIENTOS**

Se define al viento, en general, como el movimiento de las masas de aire; sin embargo, una definición aceptada técnicamente, apoyada en la meteorología, es: corriente horizontal (o casi) de aire que circula con relativa proximidad a la superficie terrestre; una variación a esta definición está representada por los "vientos orográficos" que circulan en forma ascendente.

El viento se atribuye a las desigualdades de la densidad del aire, y a las presiones bajas y altas; el excesivo calentamiento del aire hace que éste se dilate y se anime de un movimiento ascendente dejando un lugar vacío en el lugar en donde se dilató, o centro de baja presión barométrica; este vacío se llena con aire más denso que procede de otras regiones o lugares de alta presión.

Atendiendo a su acción los vientos se clasifican en:

- a) **Constantes o regulares.**- soplan en una dirección todo el año.
- b) **Periódicos.**- invierten su dirección con las estaciones del año o con el día y la noche.
- c) **Irregulares.**- son los que carecen de periodicidad y soplan en una y otra dirección indiferentemente.

Atendiendo a su extensión se pueden clasificar a los vientos en:

- a) **Generales o planetarios.**
- b) **Locales.**

Como ejemplo de los vientos constantes y a su vez generales se encuentran los vientos **ALISIOS, CONTRALISIOS Y POLARES O VIENTOS DEL OESTE.**

El origen de estos vientos se encuentra en la región ecuatorial de la tierra, en donde existen los mayores motivos de calentamiento y humedad; a consecuencia de esto el aire se vuelve más ligero y se establece una corriente ascensional de aire caliente y húmedo: éste se enfría a medida que sube y gran parte del vapor que lleva en suspensión se precipita en forma de copiosas lluvias, luego el aire ya más seco y pesado se derrama por las capas superiores de la atmósfera en dirección a los polos; a este flujo de vientos se le denomina **CONTRALISIOS**. Para llenar el vacío que dicha corriente ascensional deja en extensa zona ecuatorial (de 300 a 1000 km.), acuden por abajo los llamados vientos **ALISIOS** que llegan del Norte y del Sur y vuelven a elevarse formando por lo tanto, un cinturón carente de vientos horizontales en el ecuador teórico de la tierra que recibe el nombre de **CALMAS ECUATORIALES**; nombre dado por los marinos debido a la frecuencia con que los veleros se quedaban estacionados por falta de viento.

Ahora bien, si la tierra no estuviese dotada de movimiento de rotación y no existiesen perturbaciones en la superficie de la misma, la trayectoria de estos vientos (**ALISIOS Y CONTRALISIOS**), coincidiría con los meridianos, pero en virtud de este movimiento de rotación de las moléculas atmosféricas al trasladarse de los polos al ecuador, que es el caso de los vientos alisios, éstos van encontrando regiones dotadas de creciente

**velocidad lineal** (la velocidad lineal de la tierra va en aumento a medida que se va uno acercando de los polos hacia el ecuador) lo que da por resultado que en vez de seguir trayectorias de los polos al ecuador se desvían hacia el Este en el Hemisferio Norte y hacia el Oeste en el Hemisferio Sur, lo que da en la zona ecuatorial vientos del NORESTE al Norte del ecuador y vientos del SURESTE al Sur de éste.

El viento es el principal generador de oleaje y su efecto sobre la costa es permanente, provocando, además, mareas de vientos y fuerzas sobre las estructuras; de ahí la importancia de su estudio desde el punto de vista de las obras marítimas y la ingeniería de costas.

#### **II.4.1 ELEMENTOS QUE CARACTERIZAN AL VIENTO.**

Los elementos que caracterizan al viento son tres:

a) dirección que sopla; b) intensidad o velocidad con que sopla; y c) frecuencia o número de veces que se presenta con determinadas características durante un lapso cualquiera, utilizándose normalmente la hora, el día, mes, estación o año.

a) **Dirección.**- Para definir la dirección se utiliza la denominada "Rosa de los vientos", que no es más que un limbo circular que puede estar dividido en 4, 8 16 y 32 partes. Es decir, la dirección del viento es el punto cardinal de donde sopla; así, por ejemplo, un viento Norte es el que proviene

del Norte. Los puntos cardinales comúnmente empleados son ocho: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW.

b) **Intensidad.**- Es la velocidad con que sopla y se expresa en unidades de longitud sobre las de tiempo (m/seg, km/hr, nudo); para su medición se utiliza la escala internacional llamada de BEAUFORT (modificada) que se presenta en la tabla 2.5

En relación con la intensidad del viento, cabe mencionar la que se use en las partes meteorológicas y que es la siguiente:

**Perturbación tropical:** Son circulaciones débiles que se presentan en latitudes entre los 5° y 8°.

**Depresión tropical:** Circulación sensiblemente cerrada y centro bien definido; velocidad máxima de 40 k.p.h.

**Tormenta tropical:** Forman nubosidades espesas y algunas perturbaciones se disipan al alcanzar esta clasificación; las velocidades aumentan, fluctuando entre 60 y 120 k.p.h.

Huracán: Velocidades de viento superiores a los 120 k.p.h.

#### **II.4.2 FUERZAS DE GENERACIÓN.**

Para poder definir con exactitud las fuerzas que intervienen en la generación de un viento, es necesario primero conocer algunos términos, mismos que se presentan a continuación:

**Isobaras:** líneas que unen puntos en el espacio en los cuales hay una misma presión atmosférica en un momento dado.

Como ley de carácter fundamental hay que mencionar que las líneas isobaras "jamás" se cruzan, si bien pueden correr paralelas muy próximas unas con otras. Los elementos que caracterizan toda formación isobárica son: a) el perfil de las isobaras (rectilíneas, curvilíneas, de poco y mucho radio, abiertas o cerradas); b) la situación del máximo o del mínimo valor de la presión, en relación al conjunto de isobaras; c) el gradiente horizontal de la presión.

En este último caso, cabe mencionar que se define gradiente de presión lo siguiente: "diferencia de valores de dos isobaras contiguas que se hallan a la unidad de distancia, media éste siempre perpendicular a las porciones infinitesimales de las isobaras; la unidad de longitud que se utiliza en el grado geográfico" (1 grado geográfico = 111.11 km.)

Como unidades para medir la presión se utilizan normalmente los milibares; las isobaras normalmente tienen una diferencia de presión entre sí de 3 o 5 milibares, siendo un milibar (mb):

$$1 \text{ mb} = 0.750 \text{ mm Hg}; 1 \text{ bar} = 1,000 \text{ mb}; 1 \text{ mm Hg} = 1.33 \text{ mb.}$$

$$1 \text{ atmósfera} = 1,013 \text{ mb} = 760 \text{ mm Hg} = \text{presión normal.}$$

**TABLA 2.5**  
**ESCALA DE BEAUFORT**

<b>GRADO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>VELOCIDAD</b> (m/se)	<b>CONDICIONES DEL MAR</b>
0	Calma	0.0 - 0.2	mar llana
1	ventolina	0.3 - 1.5	ondulación pequeña en la superficie, sin producción de espuma.
2	flojito	1.6 - 3.3	olas cortas y bajas que no romper; mar rizada.
3	flojo	3.4 - 5.4	oleaje que empieza a romper; poca espuma; mar rizada.
4	bonacible	5.5 - 7.9	olas de poca altura pero de mayor longitud; borregos de espuma; marejadilla.
5	fresquito	8.0 - 10.7	se acentúa la longitud de las olas; generalización de borregos de espuma; esporádicamente rociones de espuma; marejada.
6	fresco	10.8 - 13.8	se inicia la formación de grandes olas, que romper; rociones de espuma al aire; mar gruesa.
7	frescachón	13.9 - 17.1	crece la mar; mar muy gruesa.
8	duro	17.2 - 20.7	olas de altura notable; las crestas despiden espuma pulverizada; mar arbolada.
9	muy duro	20.8 - 24.4	olas muy grandes; balances pronunciados; la espuma espesa a afectar la visibilidad.
10	temporal	24.5 - 28.4	olas considerables; mar blanca de espuma, balances fuertes.
11	borrasca	28.5 - 32.6	olas extraordinariamente altas; visibilidad escasa a cause de la espuma.

### **II.4.3 APARATOS DE MEDICIÓN**

Los aparatos más comúnmente usados en la actualidad para determinar las características de los vientos son: anemómetro y anemógrafo.

#### **ANEMÓMETRO**

Indica la velocidad y dirección del viento en forma simultánea, logrando tal objetivo por medio de un tacómetro que se liga a través de un engranaje a un eje vertical en cuyo extremo superior tiene una serie de aspas cóncavas o copas adosadas a una cruceta (los hay de 3 y 5 copas); de igual forma, tiene una carátula en donde se puede ver directamente tanto la velocidad como la dirección del viento incidente.

#### **ANEMÓGRAFO**

Este aparato cuenta adicionalmente con un mecanismo de graficación que imprime sus trazos en un papel graduado, que va colocado en un tambor que se desplaza mediante un mecanismo de relojería. La graduación vertical define la velocidad y la horizontal el tiempo.

## **II.5 BATIMETRÍA**

### **II.5.1 GENERALIDADES.**

La batimetría es un aspecto importante dentro del diseño de estructuras de protección que se debe tomar muy en cuenta, además el estudio batimétrico es necesario para realizar la refracción del oleaje.

Levantamientos batimétricos son aquellos que se llevan a cabo mediante sondeos, a fin de obtener la configuración del fondo del mar, lagos, ríos, o embalses.

Cuando se necesitan levantamientos topográficos de los terrenos adyacentes o las áreas cubiertas por el agua, conviene planearlos conjuntamente con los levantamientos batimétricos.

La fotogrametría y los modernos equipos de sondeo por eco, llamados *ecosonda*, permiten que los levantamientos batimétricos se lleven a cabo con mayor precisión y rapidez. La localización de la lancha en la cual está instalado el ecosonda se logra mediante triangulación utilizando dos tránsitos (teodolitos); o bien con equipos de posicionamiento como puede ser el trisponder.

Las ecosondas determinan el intervalo de tiempo con que las ondas sonoras viajan con velocidades conocidas desde un determinado punto en la superficie del agua a través del medio acuático; es decir, lo que se hace es



medir el tiempo que transcurre entre el instante que se emite un sonido y aquel en que se recibe su eco, y como es conocida la velocidad de la onda, el aparato indica directamente la distancia que recorre dicho sonido.

### **II.5.2 EQUIPO BATIMÉTRICO**

El equipo batimétrico puede consistir en un mecanismo de registro gráfico, un transmisor de señales sonoras y su amplificador de eco, así como una unidad sumergible llamada *pescado*, que consiste en dos sensores (uno transmisor y otro receptor); todo este equipo es electrónico y funciona generalmente con 12 voltios de corriente continua.

Para la interpretación del registro o gráfica, es necesario considerar que un fondo rocoso refleja un eco más fuerte, y que los fondos compactos registran gráficas de traza bastante delgada y definida, mientras que en fondos lodosos esta gráfica es variante y poco definida, por tal motivo en este caso se interpretará la línea superior de la gráfica como el límite útil.

Cuando existen ecos múltiples por haber poca profundidad y fondo rocoso, es recomendable reducir la sensibilidad del equipo; además puede haber confusión en el eco cuando existan en el agua burbujas de aire producidas por la estela que deja la embarcación.

## **II.5.3 LOCALIZACIÓN PLANIMÉTRICA DE LA UNIDAD DE SONDEOS O EMBARCACIÓN.**

Para situar la lancha en que se realizan los sondeos, es necesario resolver el triángulo formado cuando menos por dos puntos de coordenadas conocidas en tierra y el punto ocupado por la lancha. Esto puede hacerse con dos tránsitos midiendo desde tierra los ángulos que se forman al intersectar la lancha, o midiendo las distancias de los puntos desde la estación en tierra a la embarcación. En el primer caso, la distancia entre las dos estaciones donde se colocan los tránsitos debe ser conocida. En el segundo se utiliza un equipo electrónico de medición de la distancia, el cual sitúa la lancha midiendo simultáneamente el ángulo a una línea base de referencia y la distancia entre él y la lancha.

En el instante en que se determina la situación de la embarcación, se toma el dato de profundidad; con ello se obtendrá un punto que servirá para la configuración del relieve subacuático. Se necesitan cuando menos 100 puntos por  $\text{km}^2$  para realizar una configuración razonable. La coordinación entre los operadores de los tránsitos y de ecosonda se logra por medio de radios portátiles. Existen equipos más complejos como el trisponder que colocado en la lancha permite conocer su localización respecto a estaciones fijas en tierra. Aún más, la señal del trisponder y del ecosonda se pueden enviar a un equipo electrónico que automáticamente indica la posición (x, y) de la lancha y la profundidad del fondo que corresponde a ella.

### **III. ALTERNATIVAS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN**

Estas obras son aquellas que están destinadas a asegurar o proteger una costa contra la acción destructiva de los fenómenos oceanográficos, para su estudio se pueden dividir de acuerdo a sus características estructurales y ubicación con respecto a la playa. A continuación se mencionan las más usuales e importantes.

#### **III.1.1 OBRAS PARALELAS A LA PLAYA**

Dentro de este tipo de estructuras, podemos encontrar: muros (reflejantes o no reflejantes), revestimientos (rígidos y flexibles) y estabilización de dunas. Son colocadas paralelamente a la línea de costa en lo alto de la playa, formando diques entre la playa y el mar; tienen la función de fijar la línea de playa, ya que quedan colocada justamente en la zona en la que el mar ejerce su influencia.

En estos casos la fijación de la costa se realiza teniendo en consideración un movimiento de sedimentos que se encuentran frente al dique, ya que la ola se refleja, por lo que se tiene un aumento de la agitación y por tanto una erosión de los sedimentos por las diversas corrientes del oleaje que circulan frente a la obra. La playa que se tiene frente al dique puede por lo tanto desaparecer y la obra puede quedar inestable. Este tipo de obras debe de resistir los impactos de las olas, además es necesario que la

ola incidente no la rebase, ya que se pueden producir socavaciones detrás de ella.

Una protección contras las erosiones al pie de malecones o revestimientos puede ser a base de tablaestaca. Este tipo de obras están mejor protegidas cuando se tienen coeficientes de reflexión pequeños, es decir cuando el talud de la obra es pequeño o de forma circular (figura 3.1)

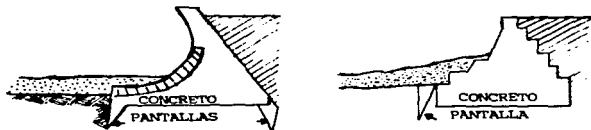


FIG. 3.1 OBRAS PARALELAS A LA PLAYA

### III.1.2 OBRAS PERPENDICULARES A LA PLAYA

Este tipo de obras llamadas generalmente espigones, tienen la función de reducir el transporte que se conoce con el nombre de diente de sierra (espigones cortos) o el transporte que se desplaza a lo largo de la zona activa de la playa el transportado por la corriente litoral. Los espigones no detienen las erosiones debidas a las corrientes de retorno y a las normales a la costa; éstas por lo general provocan fuertes erosiones en las extremidades de la obra y en ocasiones su destrucción.

Como las obras perpendiculares a la playa detienen el transporte litoral, producen una acumulación de sedimentos de un lado y una erosión en el otro; es necesario, por lo tanto, colocar una serie de espigones (batería de espigones) comenzando por la zona que se localiza aguas abajo del sentido del transporte dominante. Por regla general el espaciamiento entre espigones debe variar entre 1.5 y 2 veces su longitud, la cual debe de ser suficiente para rebasar la zona de máximo transporte, es decir, la línea de rompientes.

En el caso de que el oleaje dominante forma un cierto ángulo con respecto a la playa, será conveniente orientar los espigones normalmente a esta dirección, de tal modo que se eviten turbulencias en sus extremidades.

Si no existe una dirección predominante de ataque, los espigones deben ser colocados normalmente a la costa. En la medida en que un espigón funcione bien, no existirá ningún peligro para su estabilidad ya que éste es cubierto por la arena; si no es así será necesario vigilar su estabilidad sobre todo en el morro (por lo general éste está construido por enrocamientos sin filtro al pie).

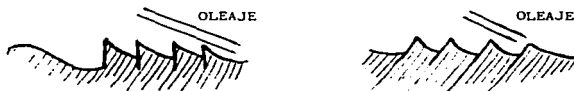


FIG. 3.2. ORIENTACION DE ESPIGONES DE ACUERDO CON LA DIRECCION DEL OLEAJE INCIDENTE.

Los espigones para su estudio se pueden clasificar en función de:

- a) manera de paso de los sólidos.
  - b) poder reflejante.
  - c) distribución de la cotas de coronación.
  - d) materiales que los componen.
  - e) forma en planta.
- a) Manera de paso de los sólidos.- Este tipo, a su vez, se subdivide en:
- rebase por delante: cortos y largo.
  - rebase por encima: rebasables y no rebasables.
  - rebase a través: impermeables o permeables.
- b) Poder reflejante.- Verticales y a talud.
- c) Distribución de la cota de coronación.- Ajustables y no ajustables.

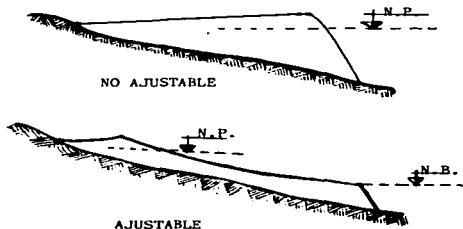


FIG. 3.3 COTA DE CORONACION EN ESPIGONES

Cabe mencionar que diversos autores consideran más satisfactorios los denominados "ajustables", que constan de un primer tramo horizontal desde tierra que le de empote; un tramo intermedio que siga la pendiente de la playa; y otro con ligera pendiente hacia el mar.

d) Materiales que lo componen: madera, concreto, tablaestaca metálica, enhuacalado de piedra, enrocamiento, etc.



FIG. 3.4. MATERIALES PARA ESPIGONES

e) Forma en planta: normales a la playa (los más empleados, curvos, en T, en L, etc.



FIG. 3.5. FORMA EN PLANTA DE ESPIGONES

Es importante señalar que un rompeolas o escollera, también cumple la función de detener transporte y estabilizar una playa.

### III.1.3 OBRAS AISLADAS O FUERA DE LA COSTA

Las obras colocadas frente a la línea de costa forman un obstáculo a las corrientes normales a ésta, susceptibles de erosionar la playa. Si este obstáculo se encuentra emergido crea entre la playa y el obstáculo una zona de calmas relativa, donde los sedimentos pueden depositarse. Si las obras están colocadas muy lejos de la costa no tienen ningún efecto sobre la playa, pero pueden resultar peligrosas para la navegación; si se encuentran colocadas muy cerca de la costa pueden dar nacimiento a nuevas formaciones de arena, entre la costa y la obra (tómbolos).

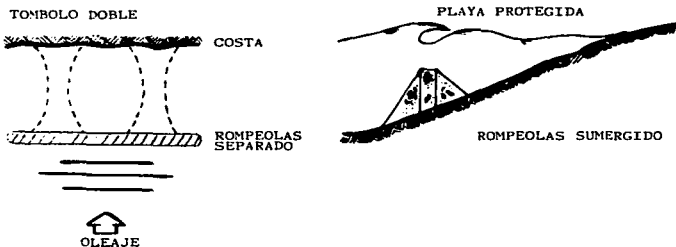


FIG. 3.6. OBRAS FUERA DE LA COSTA



## IV. REFRACCIÓN DE OLAJE

### IV.1.1 CALCULO DE LA REFRACCIÓN

La velocidad de propagación de una ola progresiva, para un periodo determinado, de acuerdo a la teoría línea se expresa:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \operatorname{tgh} \left( \frac{2\pi d}{L} \right)$$

Conforme la profundidad disminuye, el fondo empieza a afectar el movimiento de las partículas de agua, debido al efecto de fricción, mismo que provoca una reducción en la velocidad de propagación en la longitud de onda.

La disminución de velocidad significa que cuando un tren de olas, de un determinado periodo, entra en aguas intermedias ( $1/2_5 < d/L_0 < 1/2$ ) y bajas ( $d/L_0 < 1/2_5$ ), las distintas partes de la cresta (frente de olas) se desplazan con diferentes velocidades dependiendo de la profundidad, provocando que la cresta se deforme o doble en su proyección horizontal, de tal forma que tiende a hacerse paralela a las líneas batimétricas sobre las que se propaga. A este fenómeno es al que se le llama REFRACCIÓN.

La importancia de la refracción del oleaje estriba en el hecho de que prácticamente todas las estructuras marítimas se construyen en aguas bajas o intermedias, donde las olas sufren considerables cambios debido a su efecto.

**Por lo tanto, el estudio del fenómeno de refracción es materia obligada para la determinación de las características del oleaje y sus acciones, como por ejemplo:**

- **deducir las características de las olas en aguas finitas, a partir de las correspondientes en aguas profundas ( $d/L_o > 1/2$ ), en donde no tiene influencia el fondo; definir la altura de la ola de diseño en cualquier punto.**
- **determinar concentraciones.**
- **determinar los arrastres de sedimentos.**
- **definir los ángulos de incidencia de los frentes de ola con respecto a la línea de costa, los que permiten calcular la tendencia y magnitud del transporte litoral.**
- **definir fronteras en modelos hidráulicos.**

Además de la refracción causada por el fondo, las olas pueden refractarse por corrientes o por alguno otro fenómeno que provoque que una parte de la ola se desplace más rápidamente que otra.

En la actualidad el fenómeno de refracción puede analizarse mediante métodos gráficos y numéricos; estos últimos no se abordan en el presente trabajo.

Todas las metodologías están basadas en el principio de óptica

denominado como la "Ley de Snell", cuyas suposiciones de partida son las siguientes:

- a) la energía comprendida entre dos ortogonales permanece constante (ver figura 3.29).
- b) la dirección de avance de la onda es la perpendicular a su cresta en cada momento.
- c) la celeridad de la onda en un punto en particular, para un periodo determinado, depende únicamente de la profundidad de ese punto.
- d) los cambios en la batimetría son graduales.
- e) la forma de la ola es senoidal, de cresta indefinida, pequeña amplitud ( $h \ll L$ ) periodo constante y monocromática (todas las ondas son iguales).
- f) se desprecian los efectos de corrientes, vientos y reflexiones del oleaje incidente en la playa.

Cuando la ola se encuentra en aguas profundas ( $d/L_0 > 0.5$ ), todos los puntos de la cresta del frente de olas se desplazan a una misma velocidad; tal y como se muestra en el avance de A a B de la figura 4.1; una vez que se rebasa este límite, hacia aguas más someras, la velocidad disminuye en relación a la profundidad por lo que, para un mismo intervalo, el avance sería el de B a C, es decir a una velocidad  $C_d$  ( $C_d < C_0$ ).

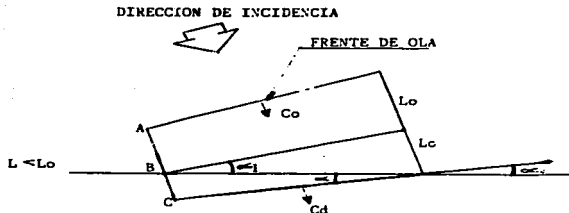


FIG. 4.1 FENOMENO DE REFRACCION

De la figura se deriva la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \alpha_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{C_d}{C_0} = \frac{\text{tgh } 2\alpha d}{L}$$

$$\therefore \text{Sen } \alpha = \frac{C}{C_0} \text{Sen } \alpha_0$$

Por otra parte, la potencia transmitida por un tren de olas, de acuerdo a la teoría lineal, vale.

$$P = EC = \frac{1}{8} \gamma H^2 B L T$$

DONDE: P = POTENCIA  
E = ENERGIA  
C = CELERIDAD  
T = RELACION DE ESBELTES  
H = ALTURA DE LA OLA

Si se considera que la energía E se conserva y no fluye lateralmente a lo largo de la cresta de la ola, la misma potencia debe transmitirse a todas las posiciones entre las dos ortogonales: por lo tanto:

$$P_0 = P \quad \text{potencia}$$

$$\frac{1}{8} \gamma H_o^2 \frac{B_o}{T} L_o = \frac{1}{8} \gamma H^2 \frac{B}{T} L \quad \text{energía}$$

$$\frac{H^2}{H_o^2} = \frac{B_o}{B} \frac{L_o}{L}$$

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{B_o}{B}} \sqrt{\frac{L_o}{L}}$$

si  $\sqrt{\frac{B_o}{B}} = Kr$  coeficiente de refracción

$\sqrt{\frac{L_o}{L}} = Ks = \frac{H}{H_o}$  coeficiente de fondo

finalmente  $H = H_o Kr Ks$

Es decir, la altura de ola H en un punto cualquiera una vez rebasado el límite de aguas profundas, es igual al producto de la altura de ola en aguas profundas H<sub>o</sub> por el coeficiente de refracción Kr y la altura de ola en aguas profundas equivalente a la observada en aguas bajas si no está afectada por la refracción y fricción. (H/H<sub>o</sub>)

De manera semejante, se tiene

$$Kr = \sqrt{\frac{B_o}{B}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$$

$$\alpha = \text{arc sen } (C/Co \text{ sen } \alpha_o)$$

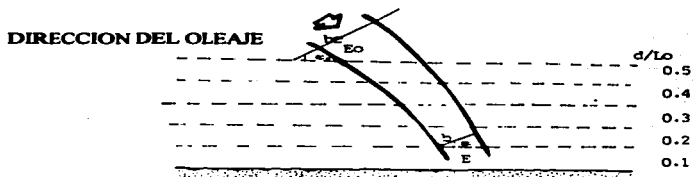


FIG. 4.2 FENOMENO DE REFRACCION

El método gráfico que más se utiliza para la realización de diagramas de refracción, se describe a continuación.

#### MÉTODO DE LOS FRENTE DE OLA

Se apoya en la construcción de un ábaco o regleta, la cual relaciona los avances de los frentes de ola a distintas profundidades, mediante la relación  $d/L_0$ , tal y como se muestra en la figura 4.3

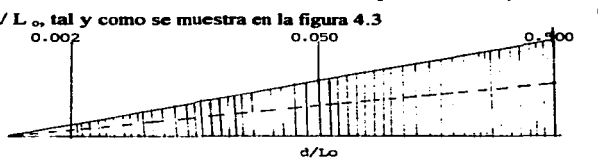


FIG. 4.3 ABACO PARA LA ELABORACION DE DIAGRAMAS DE REFRACCION

En aguas profundas, dado que no hay influencia del fondo, el movimiento de las crestas es recto y paralelo, mientras que en aguas .

intermedias y reducidas, la reducción en la velocidad produce que la cresta se doble en la dirección en la que disminuye el ángulo entre la propia cresta y la batimétrica correspondiente (figura 4.1)

La construcción de los diagramas de refracción se debe iniciar desde los frentes de ola rectos; es decir, en una profundidad igual a la mitad de la longitud de ola en aguas profundas ( $d = L/2$ )

El diagrama se construye moviendo cada punto de la cresta, hacia menores profundidades, en una dirección perpendicular a la misma. El ábaco mostrado en la figura anterior está hecho de tal forma que de el avance de la cresta para cualquier valor de  $d/L_0$  en un plano a cualquier escala; este avance corresponde a  $nL$ , en donde  $n$  indica el número de longitudes de ola entre cada frente dibujado y depende de la escala del plano y de la complejidad de la batimetría. Debe tomarse en consideración que el avance  $nL$  no resulte ser muy grande o muy pequeño, ya que en el primer caso la influencia del fondo no es distinguible y en el segundo se dificulta el dibujo.

El valor de  $n$  puede deducirse a partir de la siguiente expresión :

$$n = 0.0163 S/T^2$$

donde:

S. escala del plano

T. periodo de la ola (seg)

por ejemplo, si  $T = 8$  seg y  $S = 2,000$ , se tendría:

$$n = 0.0163 \times 2,000/164 = 0.5$$

como  $L_0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 8^2 = 100$  m

entonces  $nL_0 = 0.5 \times 100$  m = 50 m para aguas profundas

y a escala  $nL_0 = \frac{50 \text{ m}}{2,000} = \frac{5,000 \text{ cm}}{2,000} = 2.5$  cm.

En la práctica, el tamaño del cateto menor del ábaco ( $nL$ ) es del orden de 2.5 a 4 cm y el cateto mayor ( $d/L_0$ ) de 15 a 20 cm, dimensiones tales que permiten su fácil manipulación y lectura.

El ábaco se debe construir de material transparente y es común hacerlo de algún plástico. El cateto mayor contiene toda la variación de la relación  $d/L_0$ , desde la zona de aguas bajas hasta el límite de aguas profundas, esto es de 0 a 0.5, lo cual se cumple para cualquier escala del plano. El valor máximo de  $nL$  corresponde al límite de aguas profundas denominándose, entonces,  $nL_0$ .

Siguiendo el ejemplo antes citado ( $nL_0 = 2.5$  cm), para la colocación de los valores de  $d/L_0$ , suponiendo un cateto mayor de 15 cm =  $x$ , se tabulan desde 0.5 hasta 0, para las diferentes profundidades  $d$ , definiéndose los correspondientes a la función  $\text{tgh } 2\pi d/L$ , para lo cual se utiliza la tabla A-1 que aparece en el anexo. Estos últimos valores deducidos se multiplican por la longitud  $x$ , determinándose así la distancia a partir del origen a la que



debe localizarse un determinado valor de  $d/L_0$  (ver tabla 3.7 y figure 3.31.)

TABLA 4.1 VALORES PARA LA CONSTRUCCION DEL ABACO					
LO	d	d/L <sub>0</sub>	$\operatorname{tgh} 2 d/L_0$	X (cm)	x <sub>j</sub> (cm)
100	50	0.5	0.99641	15	15
100	30	0.3	0.9611	15	14.42
100	15	0.15	0.8183	15	12.27
100	9	0.09	0.6808	15	10.21
100	5	0.05	0.5310	15	7.97
100	1	0.01	0.1480	15	3.72

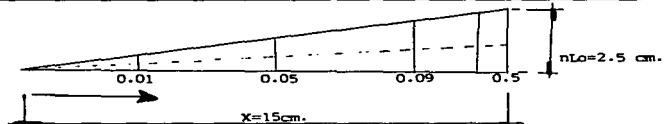


Fig. 4.4 Distancia a partir del origen a la que se le localiza el valor de ( $d/L_0$ )

En consecuencia, para la elaboración de un diagrama de refracción o plano de olas en un lugar determinado, se debe contar con:

- plano batimétrico a una escala adecuada.
- dirección y periodo del oleaje que se desea refractar.
- abaco construido expofeso.

Los pasos a seguir para la elaboración, se en listan a continuación:

- a) Definir el limite de aguas profundas (LAP),  $d/L_0 = 0.5$

- b) **Determinar las relaciones  $d/L_0$  y anotarlas en las batimétricas que correspondan, con el objeto de facilitar el trazo.**
- c) **Trazar el frente de ola en el límite de aguas profundas o mar afuera de éste en la dirección del oleaje por estudiar; se deberá tener la certeza que el tamaño del frente de ola trazado, una vez refractado, cubra el sitio o longitud por estudiar en la costa.**
- d) **Dividir el frente de ola trazado en el límite de aguas profundas en segmentos de tamaño  $b_0$ ; normalmente  $b_0 = 2.5$  a  $3$  cm.**
- e) **Colocar el ábaco por el lado de los valores de  $d/L_0$ , haciéndolo coincidir tangencialmente con el último frente de ola.**
- f) **Se hace coincidir a la batimétrica más cercana con su correspondiente valor de  $d/L_0$  en la línea punteada del ábaco, determinando el avance correspondiente sobre la hipotenusa del mismo.**
- g) **Deslizar la regleta sobre el mismo frente de ola hasta interceptar nuevamente la misma batimétrica del punto anterior o una inmediata para determinar otro avance.**
- h) **Se repite la operación las veces que sea necesario y mediante la unión de los puntos marcados, se obtiene el nuevo frente de ola.**
- i) **A partir de las divisiones que tiene el frente en el límite de aguas profundas, se trazan ortogonales en esos puntos y se prolongan hasta la mitad de la distancia entre cada frente de ola.**

- j) Se coloca el ábaco sobre el nuevo frente de ola, haciendo coincidir el lado mayor con él; de no ser posible debido a que este nuevo frente de ola tenga una configuración irregular o muy curvada, se coloca el ábaco en el punto que se quiere avanzar en forma tangencial, alineando para ello el valor correspondiente en la escala de  $d/L_0$  y el punto en cuestión, con el extremo de la ortogonal que se encuentra a la mitad de la distancia entre el frente anterior y éste y repitiéndose los pasos f, g y h se obtiene el nuevo frente de ola.
- k) Se unen con una línea recta el punto sobre el frente del cual se obtuvo el nuevo avance con el extremo de la ortogonal anterior y se prolonga hasta la mitad de la distancia entre este frente y el que se acaba de definir.
- l) Se repite todo el proceso hasta encontrar la última batimétrica.
- m) Tanto las líneas que definen los frentes como a las ortogonales deben quedar dibujados con líneas curvas.'

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Tabla 4.2**

Coefficientes de refracción para las distintas direcciones

Dirección	NORTE	Dirección	ESTE
Periodo	6 seg.	Periodo	6 seg.
Canal de energía	Coefficiente de refracción	Canal de energía	Coefficiente de refracción
22-23	0.962	7-8	0.833
23-24	1.000	8-9	0.870
24-25	0.960	9-10	0.910
25-26	0.913	10-11	0.845
26-27	0.913	11-12	0.945
27-28	0.928	12-13	0.884

Dirección	NORESTE	Dirección	NORTE
Periodo	6 seg.	Periodo	8 seg.
Canal de energía	Coefficiente de refracción	Canal de energía de	Coefficiente refracción
22-23	1.000	21-22	0.894
23-24	1.050	22-23	0.854
24-25	0.990	23-24	0.847
25-26	0.980	24-25	0.835
26-27	1.010	25-26	0.817
27-28	0.940	26-27	0.749

**CONTINUA TABLA 4.2**

<b>Dirección</b>	<b>ESTE</b>	<b>Dirección</b>	<b>NORESTE</b>
<b>Periodo</b>	<b>8 seg.</b>	<b>Periodo</b>	<b>8 seg.</b>
<b>Canal de energía</b>	<b>Coefficiente de refracción</b>	<b>Canal de energía</b>	<b>Coefficiente de refracción</b>
8-9	0.729	20-21	1.000
9-10	0.707	21-22	1.000
10-11	0.772	22-23	1.043
11-12	0.913	23-24	0.901
12-13	0.811	24-25	1.021
13-14	0.962	25-26	0.898

<b>Dirección</b>	<b>NORTE</b>
<b>Periodo</b>	<b>14 seg.</b>
<b>Canal de energía de</b>	<b>Coefficiente refracción</b>
19-20	0.913
20-21	0.822
21-22	0.772
22-23	0.758
23-24	0.760
24-25	0.730

















## **V. ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS**

### **V.I.I. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Según la Comisión Internacional del Oleaje del PIANC la función esencial de una obra de protección o rompeolas de un puerto, es proteger los accesos, las zonas de maniobras y las obras interiores contra la acción de los oleajes procedentes de aguas profundas. A su vez, otras funciones que se dan paralelamente con la construcción de los rompeolas son: encauzamiento de corrientes, interrupción del transporte litoral, ganancia de terrenos al mar, etc.

Cualquiera que sea la función que se quiera que cumpla un rompeolas, estructuralmente deberá ser capaz de resistir las diferentes acciones o fuerzas a las que estará sujeto, siendo la principal de ellas la correspondiente al oleaje. Debido a esta característica, los rompeolas para su estudio se han dividido en dos grandes grupos, que son:

- a. Los que amortiguan el oleaje.
  - b. Los que impiden el paso del oleaje.
- 
- a. Rompeolas que amortiguan el oleaje.

Esta clase de rompeolas puede decirse que no es muy usual y que su utilización se restringe a casos especiales; existen los siguientes tipos:

- a.1. Rompeolas sumergidos.- Producen una disminución en la altura

de ola incidente, mediante una reflexión parcial (figura 5.1)

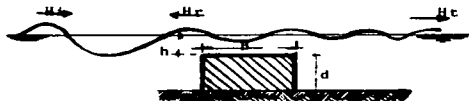


FIG. 5.1. ROMPEOLAS SUMERGIDO

$$K_t = \text{coeficiente de transmisión} = \frac{H_t}{H_i}$$

$$K_r = \text{coeficiente de reflexión} = \frac{H_r}{H_i}$$

$H_i$  = altura de ola incidente.

$H_r$  = altura de ola reflejada.

$H_t$  = altura de ola transmitida.

a.2. Rompeolas flotantes.- En la figura 5.2 se muestra el esquema de un rompeolas flotante, el cual también produce en su funcionamiento un coeficiente de transmisión del oleaje incidente hacia la zona por proteger.

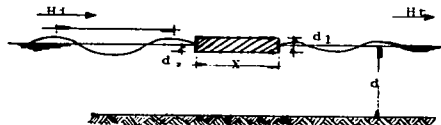


FIG. 5.2. ROMPEOLAS FLOTANTE

a.3. Rompeolas neumáticos e hidráulicos.- El amortiguamiento del oleaje se logra mediante dispositivos especiales que inyectan aire o agua a presión (figura 5.3).

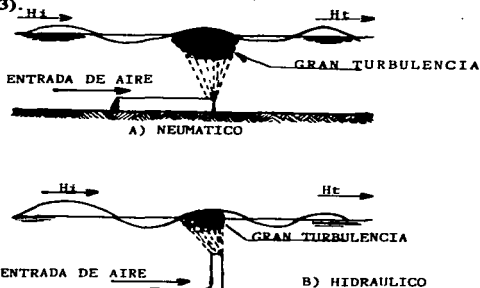


FIG. 5.3. ROMPEOLAS NEUMTICO E HIDRAULICO

b. Rompeolas que impiden el paso del oleaje.

Los rompeolas que forman este grupo son los más usuales, pudiendo clasificarse en relación a la forma en que se oponen al oleaje, en: de parámetro vertical; de parámetro a talud; y mixto.

b.1. Rompeolas de parámetro vertical.- Están constituidos por una pared vertical formada, en general, por cajones, de concreto rellenos con arena o roca, sustentados por un enrocamiento (aunque también puede darse el caso de que se hinquen o descansen en el fondo). Los esfuerzos que el oleaje produce sobre el rompeolas son: a) resultante vertical ascendente

(empuje de Arquímedes) y b) resultante horizontal, función de las características de la ola que choca contra la pared. Ante estos esfuerzos el rompeolas opone exclusivamente su peso propio y el rozamiento en su base, los cuales deben ser capaces de garantizar su estabilidad.

En el caso de que los esfuerzos del oleaje incidente superen la capacidad resistente, el rompeolas en la mayoría de los casos se deslizará y, aunque no es muy probable, podría producirse un vuelco.

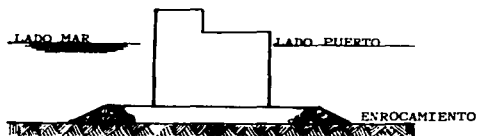


FIG. 5.4. ROMPEOLAS DE PARAMENTO VERTICAL

b.2. Rompeolas a talud.- Están constituidos, en general, por un "núcleo" de enrocamiento (piedras relativamente pequeñas), que impide la transmisión de la energía dada su baja porosidad; éste, a su vez, está protegido por una o varias capas también de enrocamiento pero con tamaños crecientes, cuya función es la de evitar la dispersión del núcleo por la acción del oleaje y que normalmente reciban el nombre de "capa secundaria". En algunas ocasiones sobre la corona de él se construye un parapeto a pared vertical (epaldón) para evitar el rebase del oleaje (overtopping) sobre la estructura.



La última capa, el manto más exterior denominado "coraza", puede estar constituido por rocas o bien de elementos prefabricados de concreto y es el que resiste directamente la acción del oleaje; es decir, la capacidad resistente de esta "coraza" es la que define la capacidad de todo el rompeolas. Los elementos prefabricados pueden tener distintas formas, siendo los más empleados: cubos, tretápodos, dolos, tribares, etc. (ver figuras 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10).

Se dice que los elementos de la coraza están "colocados", cuando se disponen de una manera ordenada; uno de los aspectos esenciales de esta colocación es el número de elementos por unidades de superficie del rompeolas. Cuando no se colocan el número de elementos previstos en un plan preconcebido, la capacidad resistente de la coraza, para una altura de ola de diseño dada, disminuye.

Cuando la colocación de los elementos no se hace con un determinado arreglo se dice que están puestos "al azar"; esta disposición permite contar con una alta rugosidad que se opone a los movimientos ascendentes y descendentes de olas, además de que la construcción es más rápida.

La colocación "al azar" resulta muy conveniente para los bloques simétricos o con forma paralelepipeda, cuya mayor dimensión no sobrepase el doble de la más pequeña; también es recomendable para el caso de enrocamientos. Por el contrario, esta disposición no es aconsejable para elementos artificiales con formas complejas y relativamente frágiles, cuya resistencia al oleaje reside en gran parte en la "trabazón" entre los propios

elementos, como es el caso de los dolos, tribar, etc. La resistencia que los mantos construidos con estos últimos tipos de elementos oponen al oleaje varía, de igual manear, de forma considerable con el porcentaje de huecos por lo que no es posible dejar al azar estos parámetros. Por contrapartida a estos inconvenientes, el empleo de elementos con formas complejas permite utilizar piezas cuyo peso es generalmente bastante inferior a los de formas más simples o enrocamiento, consiguiéndose, además, menores reflexiones y rebases de la estructura.



FIG. 5.5. ROMPEOLAS A TALUD

b.3. Rompeolas mixtos.- Consisten en una muralla vertical (o casi vertical) que reposa directamente, bien sobre el fondo del mar cuando la profundidad es poca y el terreno resistente o, más usual, sobre un enrocamiento cuya corona se encuentra cuando mucho al nivel de bajamar. La característica fundamental de estos rompeolas es que las olas se reflejan sobre él en condición de pleamar y rompen contra él o contra el talud en condición de bajamar. Cuando el enrocamiento llegue hasta por arriba de pleamar, dejará de tratarse de un rompeolas mixto para ser un rompeolas a talud con espaldón o parapeto.

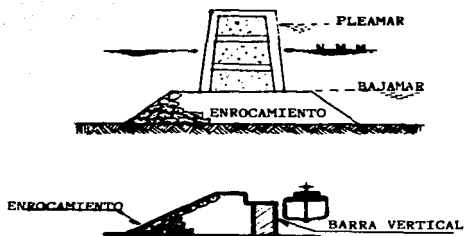
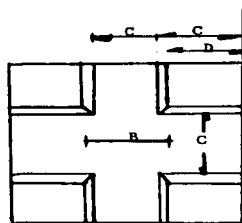


FIG. 5.6. ROMPEOLAS MIXTO

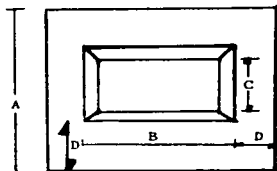
Acerca de las características que permiten elegir entre cualquiera de los rompeolas clasificados, a continuación se exponen ciertas ideas generales a título de orientación.

Para grandes profundidades, las obras a talud requieren grandes volúmenes de materiales, lo cual las puede hacer relativamente más caras. Además, es a estas profundidades donde los rompeolas verticales trabajan óptimamente en condiciones reflejantes.

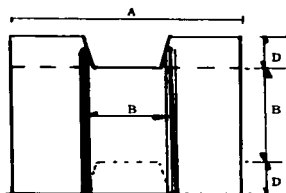
A manera general, por tanto, se puede decir que los rompeolas a talud son más recomendables para profundidades pequeñas y medias, mientras que los verticales lo son para profundidades grandes.



PLANTA



FONDO



ELEVACION

$$\text{VOL.} = 0.781 A^3$$

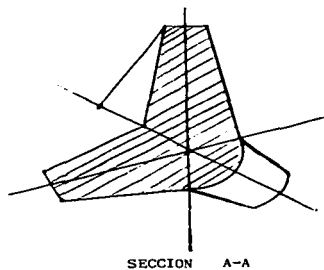
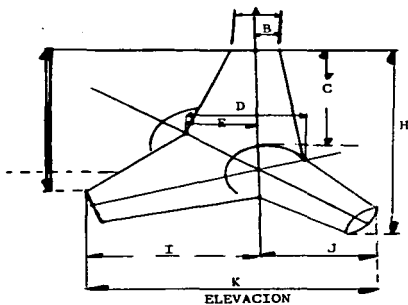
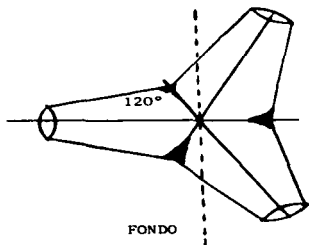
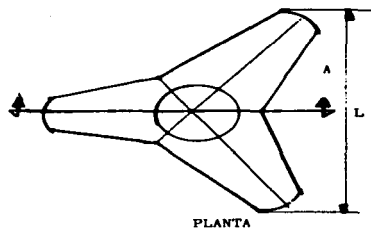
$$B = 0.502 A$$

$$C = 0.335 A$$

$$D = 0.249 A$$

FIG. 5.7 CUBO MODIFICADO

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



VOL. = 0.280 H<sub>1</sub> A = 0.

Fig. 5.8 Tetrápodo

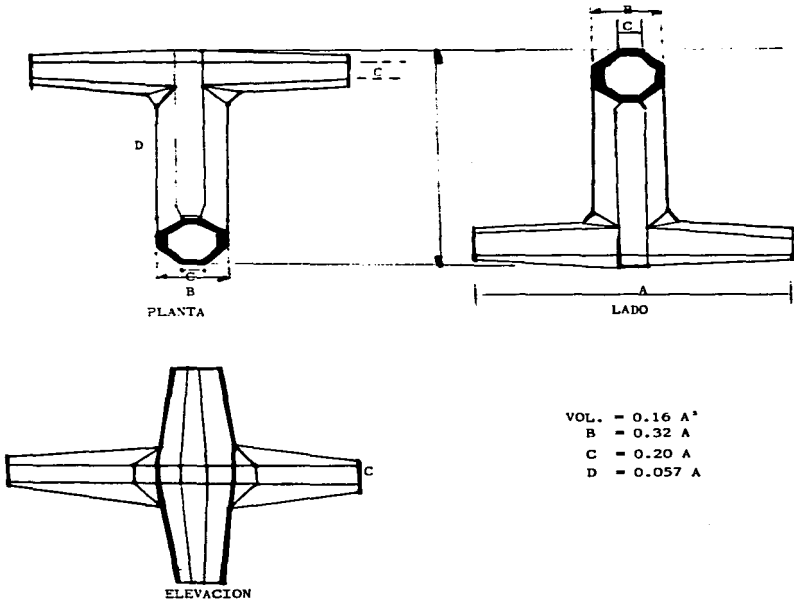


FIG. 5.9 DOLO

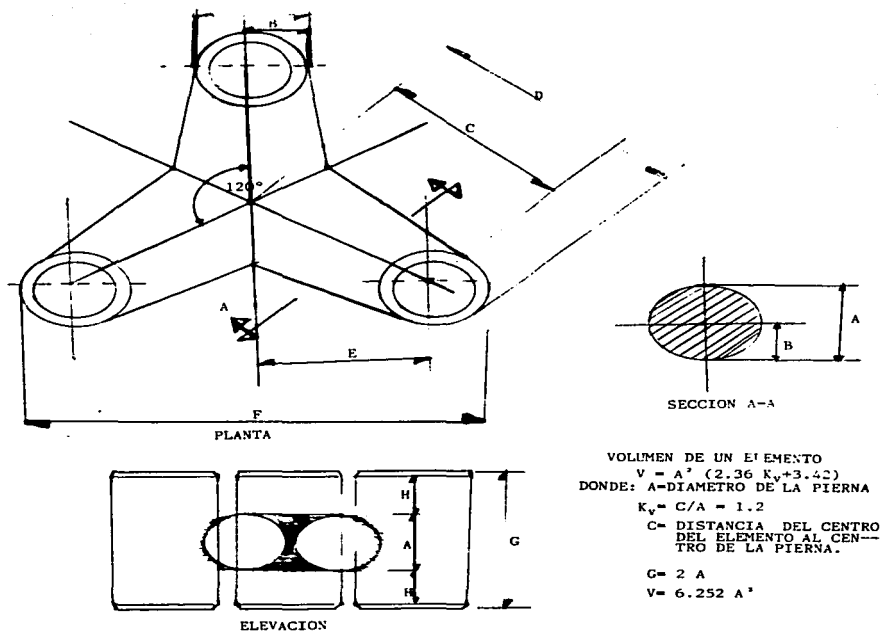


FIGURA 5.10 TRIBAR

## V. 1.2 PROYECTO DE OBRA.

### V 1.2.1 Consideraciones de diseño.

#### Peso necesario para la coraza.

Cuando las estructuras se forman con elementos sueltos como piedra o elementos artificiales de concreto, el peso necesario de las unidades de coraza se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{r, H^3}{kd(Sr - 1^3) \cot \alpha} \quad (5.1)$$

#### Donde:

- W** = Peso mínimo necesario de las piedras o de los elementos artificiales de concreto para la coraza (ton).
- r** = Peso específico de los elementos de la coraza (T/m<sup>3</sup>)
- Sr** = Densidad de sólidos de los elementos sumergidos en el mar, es decir  $Y_s/Y_z$ .
- Ys** = Densidad del agua de mar (1.025 t/m<sup>3</sup>)
- Cot α** = Talud de la coraza.



- H** = **Altura de ola de diseño (m)**  
**kd** = **Coefficiente de estabilidad (adimensional).**

La fórmula más usada para calcular el peso de los elementos es la propuesta por Hudson en 1959 y está basada en la fórmula de Irribarren.

Sin embargo, el efecto del periodo no se incluye en la formula. Cuando el periodo de la ola de diseño es largo, la fuerza sobre la coraza será más fuerte algunas veces, y por eso, es necesario hacer el ensayo en modelos hidráulicos.

- Factores del medio físico que deben tomarse en cuenta para el diseño de las obras de protección.
- Fuerzas que intervienen en la estabilidad

En los diseños que se realizan en la práctica, las fuerzas que se consideran son esencialmente dos: las fuerzas debidas al oleaje y las fuerzas debidas al peso propio y rozamiento de los elementos (fig. 5.11 ) que constituyen la coraza, es decir los que directamente soportan al oleaje.

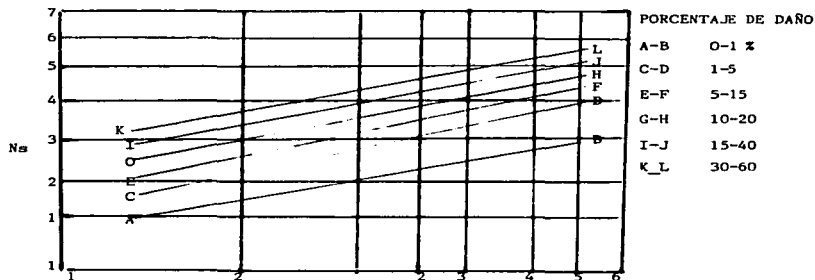


Localización en planta (rompeolas)

c) Características de la ola.

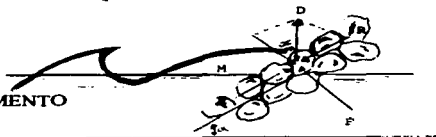
d) Espesor de la coraza.

Además, este valor cambia de acuerdo al coeficiente de daño que se considere. Por eso, se debe decidir el valor de  $K_d$  basándose en los resultados de ensayos de modelo. Además, en el caso de ensayos en modelo con oleaje regular, se debe considerar la relación entre el oleaje de ensayo (oleaje regular) y el oleaje de campo (oleaje irregular).



El CERC propone que el coeficiente de daño de 0 a 1% en los ensayos de Modelos con oleaje regular es equivalente a un daño menor de 5%, en el caso de oleaje irregular, donde el coeficiente de daño significa el porcentaje del número de los elementos con respecto al número total de los elementos.

**FIG. 5.11 ESQUEMA DE LAS FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA ESTABILIDAD DE LA CORAZA**



**P= PELO SUMERGIDO DEL ELEMENTO**

**R= ROSAMIENTO**

**F= RESULTANTE DE PRESIONES:**

Uno de los problemas es cómo elegir la altura representativa de la ola de diseño, porque esta fórmula está basada en ensayos de modelos con oleaje regular.

Normalmente, la destrucción de la coraza formada con elementos sueltos no ocurre por la acción de la ola máxima, sino por las acciones continuas del oleaje. Entonces para esto se elige la ola significativa en el lugar donde la estructura se construye.

—Selección del valor del coeficiente  $K_d$

El valor de  $K_d$  en la fórmula de Hudson está afectada por los factores siguientes:

- a) Tipo de piedra y elementos artificiales de concreto.
- b) Forma de colocación de los elementos.

de modelo usando piedra poco redonda y oleaje regular.

El CERC ha calculado que el valor de  $K_d$  basándose en el concepto de porcentaje de daño menor de 5% en el caso de oleaje irregular (es decir porcentaje de daño de 0 a 5% en el caso de oleaje regular es admisible como se muestra en la tabla 5.1 .

Estos datos se obtuvieron según Hudson y Jackson con la condición de que no exista rebase en la estructura por la ola .

Se debe considerar en tabla 5.1 el elemento artificial tiene un valor alto de  $K_d$ , los esfuerzos de tensión serán más grandes y por lo tanto, será necesario algunas veces utilizar refuerzo en el concreto de los elementos artificiales.

**TABLA 5.1**  
**Relación entre el valor de  $KD$  y el porcentaje del daño**

Porcentaje de daño	$H/HD=0$	$KD$
0-1	1.00	3.2
1-5	1.18	5.1
5-15	1.33	7.2
10-20	1.45	9.5
15-40	1.60	12.8
30-60	1.73	15.9

Nota:  $HD=0$  es la altura de ola en el caso del porcentaje de daño de 1 a 1%

En la tabla 5.2 presentan los valores de Kd en función del daño sobre la coraza y el tipo de elementos utilizados. H, es la altura de ola significativa que corresponde al porcentaje de daño (D) y  $H_D = 0$ , es la altura de la ola significativa que corresponde al porcentaje de daño de 0% hasta 5% (es la condición de no daño).

El porcentaje de daño se define como la proporción del volumen desplazado de elementos de coraza al volumen de la coraza a partir de la mitad de la sección hasta  $H_d = 0$  abajo del nivel del mar en la parte frente a la estructura.

Altura y ancho de la Corona

Otras relaciones para seleccionar el valor de Kd se muestra en la tabla 5.3

La estructura de elementos sueltos normalmente se compone con faldón o delantal como base, núcleo, capa secundaria y coraza de piedras grandes o elementos artificiales de concreto (elementos prefabricados).

Tabla 5.2 Valores de Kd función del daño sobre la coraza y el tipo de elementos utilizado

NOMBRE DE LOS ELEMENTOS ARTIFICIALES DE CONCRETO	NUMERO DE CAPAS DE LA CORAZA	DE LA	VALOR (TRONCO)		DE Kd (MORRO)	
			OLA ROMPIENTE	OLA NO ROMPIENTE	OLA ROMPIENTE	OLA NO ROMPIENTE
ROCA DE	2		2.1	2.4	1.9	
CANTERA LISA Y REDONDA	3		2.8	3.2	2.3	15-30
	1		1.0	2.4	2.3	
TETRAPO Y CUADRIPODO	3		5.4	6.5	6.6	1.5
	2		5.5		6.1	2.0
TRIPAR	2		7.0	7.7	7.0	1.5
	1		7.0	7.5	7.0	3.5

**TABLA 5.3 Relación entre el porcentaje de daño, la altura de la ola y el valor de KD**

ELEMENTO		PORCENTAJE DEL DAÑO D (%)						
		0a5	5a10	10a15	15a20	20a30	30a40	40a50
ROCA (LISA)	H/HB=0	1.00	3.01	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
		2.4	30.	2.8	4.1	5.1	6.7	8.7
ROCA (RUGOROSA)	H/HD=0	1.00	1.80	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	HD	4.0	4.9	6.6	8.0	10.0	12.4	15.0
TETRAPADO Y CUADRIADO	H/HD=0	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	HD	8.3	1.8	13.4	15.09	19.2	23.4	27.8
TRIBAR	H/HD=0	1.00	1.11	1.5	1.36	1.50	1.59	1.64
	HD	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

Una sección típica transversal de la estructura se presenta en las figs. 5.13 y 5.14. La fig. 5.13 es la sección del rompeolas que permite poco overtopping. La altura de la corona de esta sección normalmente se diseña para permitir poco overtopping por tormenta temporal de largo periodo de retorno. La fig. 5.14 es la sección del rompeolas que se expone a la acción constante del oleaje en ambos lados como es el caso de un espigón, en este caso se permitirá que el rebase de la estructura por la ola sea más frecuente.

El rebase de la estructura por la ola en una estructura de elementos sueltos como rompeolas o espigón, normalmente se tolera si no cause efectos perjudiciales al lado interior de la estructura.

El realce de la estructura por la ola ocurre por el alcance del oleaje. El alcance depende de las características del oleaje, la pendiente de la estructura,

Si El rebase de la estructura por la ola es excesivo en el rompeolas , causa agitación detrás del mismo y será perjudicial a las operaciones del puerto, tales como el atraque y de embarcaciones

Al ancho mínimo de la corona en el caso que se tolere poco rebase de la ola se calcula con la siguiente ecuación

$$B = N_e K \Delta \sqrt{\frac{W}{W_r}} \quad (5.5)$$

Donde:

**B = Ancho de la corona (m)**

**$\eta_r$  = número de elementos**

(se propone que el mínimo debe ser 2)

**$K\Delta$  = Coeficiente de capa**

(Se indica en la tabla 5.4)

**W = Peso de los elementos de la coraza (ton)**

**$W_r$  = Peso de los elementos de la coraza**

**(t/m<sup>3</sup>)**

Además, la corona debe ser del ancho suficiente para la operación de los equipos de construcción y mantenimiento.

Espeor de la coraza y número de elementos.

Se puede determinar el espeor de la coraza y el número de elementos



Se puede determinar el espesor de la coraza y el número de elementos con la siguiente ecuación.

$$r = NrK\Delta^3 \sqrt{\frac{W}{Wr}} \quad (5.6)$$

Donde:

$r$  = Espesor promedio de la coraza (m)

$Nr$  = Número de capas de los elementos de la coraza.

$W$  = Peso de cada elemento (ton)

$Wr$  = Peso específico del material (T/m<sup>3</sup>)

$K\Delta$  = coeficiente de capa.

La densidad de colocación se calcula con la siguiente formula:

$$\frac{Nr}{A} = NrK\Delta \left(1 - \frac{P}{100}\right) L \sqrt{\frac{(Wr)^2}{W}} \quad (5.7)$$

Donde:

$Nr$ : Número de elementos necesarios en un área dada.

$A$ : Área de la superficie de la estructura (m<sup>2</sup>)

$KA$ : coeficiente de capa.

$P$ : Porosidad promedio de la coraza en por ciento.

Se dan los valores de  $K_A$  Y P obtenidos de ensayos en la tabla 5.4

**Profundidad de la coraza.**

Se deben colocar los elementos de la coraza hasta una profundidad de 1.5H abajo del nivel de diseño del mar, en el caso de que la profundidad de desplante sea mayor que 1.5H como se presenta en la figura 5.13.

Donde H es la altura de la ola de diseño. Cuando la estructura está a una profundidad menor de 1.5 H. se deben colocar los elementos hasta el fondo como se presenta en la figura 5.14

**TABLA 5.4 COEFICIENTES DE CAPA**

<b>ELEMENTOS DE CORAZA</b>	<b>n()</b>	<b>COLOCACION</b>	<b>COEFICIENTE DE CAPA</b>	<b>POROSIDAD EN PORCENTAJE</b>
ROCA DE CANTERA LISA	2	VOLTEO	1.02	38
ROCA DE CANTERA (RUGOSA)	2	VOLTEO	1.15	37
ROCA DE CANTERA (RUGOSA)	3	VOLTEO	1.10	40
CUBO MODIFICADO	2	VOLTEO	1.10	47
TETRAPODO	2	VOLTEO	1.10	50
CUADRIPODO	2	VOLTEO	1.95	49
EXAPODO	2	VOLTEO	1.15	47
TRIBAR	2	VOLTEO	1.02	54
DOLO	2	VOLTEO	1.00.	63
TRIBAR	1	UNIFORME	1.13	47

Es conveniente que la coraza en que actúa el oleaje de rompiente, se apoye en una cuna como se presenta en la figura 5.13.

El peso de la piedra de la cuña será  $W/10$ , donde  $W$  es el peso de la piedra de la coraza, se coloca la cuña de piedra antes de la colocación de la coraza.

Longitud del morro y elementos de la coraza en el lado protegido.

Es conveniente que los elementos de la coraza, que constituyen el morro del rompeolas, tengan una extensión en planta de 45 a 135 m. y que sean del mismo peso, tanto del lado del mar como del lado opuesto; dependiendo tal longitud propia del rompeolas, de la elevación de la coraza (rebase) y de las condiciones de agitación (oleaje actuante).

Peso de los elementos de la coraza en el morro.

Para determinar el peso de los elementos de la coraza en el morro se toman las siguientes consideraciones.

Tamaño de piedra	Capa	Graduación de tamaños(%)
W	Coraza	125 a 75
$W/10$ a $W/15$	Capa secundaria	125 a 75
$Y/200$ a $W/600$	Núcleo	170 a 30

H = Altura de la ola de diseño.

W = Peso de los elementos de la coraza.

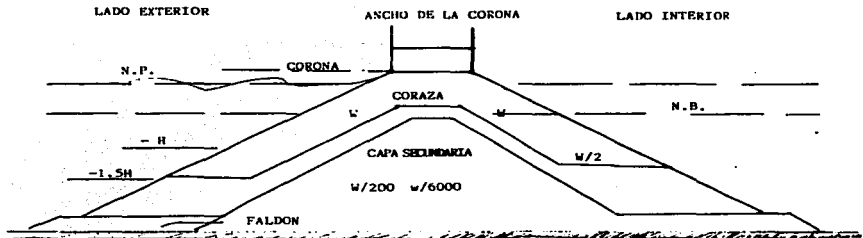


FIG.5.13 SECCION EN LA QUE ACTUA EL OLEAJE DE LA DADO EXTERIOR

TAMAÑO DE PIEDRA	CAPA	GRADUACION DE TAMAÑOS ( )
W	CORAZA	125 a 75
W/10	CAPA SECUNDARIA	125 a 75
W/200 a W/4000	NUCLEO	170 a 30

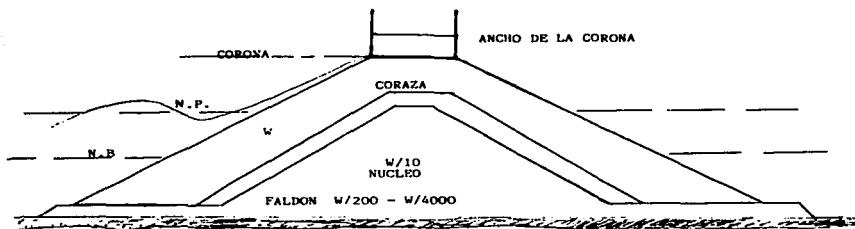


FIG.5.14 SECCION TIPICA EN LA QUE ACTUA EL OLEAJE DE AMBOS LADOS.

### **V.1.3 DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN**

El diseño de las obras de protección se realizó bajo el criterio del diseño óptimo que toma en cuenta, tanto los gastos de inversión, como los gastos de mantenimiento y consiste en diseñar las estructuras de tal manera que cumplan con los requerimientos de funcionalidad con el mínimo de costo total.

Dicho costo total comprende el costo de la construcción y los costos que implica la reparación y construcción de las partes de la estructura dañada eventualmente.

Lo expuesto quiere decir que, si bien es factible diseñar la estructura con una condición de oleaje tal que no se presente ningún daño, en general este diseño resulta demasiado costoso, ya que las obras de enrocamiento son fáciles de reparar si se llega a exceder de un cierto límite la ola de diseño.

En base a lo anterior se puede establecer que utilizando olas de diseño altas se generan costos de construcción altos y de mantenimientos bajos, a causa de una disminución de la probabilidad de que se rebasen las condiciones de diseño, así mismo podemos decir que para olas de diseño bajas se tienen costos de mantenimientos altos por el hecho de que existe una alta probabilidad de que las olas de diseño sean rebasadas. Con esto es posible hallar una combinación de costos de construcción y costos de mantenimientos que sea la mínima en costo total, lo cual arroja la altura de

ola de diseño óptima para cada sección, lo anterior se puede ver en la figura 5.15.

Para aplicar el método de diseño óptimo se procedió primeramente a diseñar las obras de protección para distintas alturas de ola y secciones a diferentes profundidades, obteniendo los costos para cada una de las alternativas.

La descripción geométrica de las obras básicas consideradas se muestra en la figura 5.16 y 5.17.

La dimensión de los elementos que constituyen las obras de protección está basada en la fórmula de Hudson (ecuación 5.1). El peso de los elementos de la capa secundaria se consideró  $W/15$  y el de los elementos de núcleo se  $W/100$ .

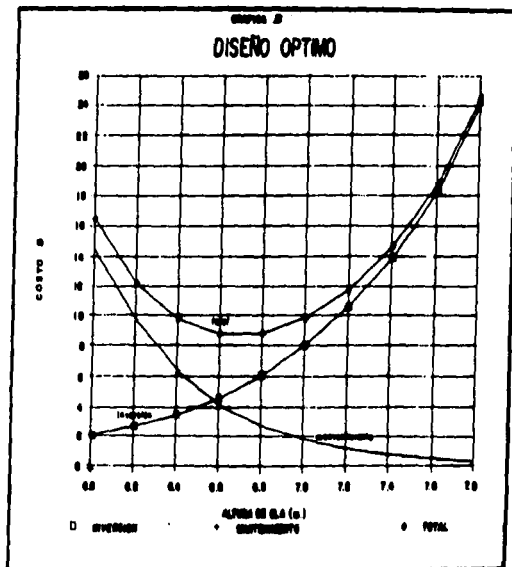
El espesor de cada capa está basado en la ecuación 5.6

Para los espesores se utilizaron los datos de coeficiente de capa:

$K = 1.14$  Para cubos modificados.

$K = 1.0$  Para roca.

Para la determinación de las elevaciones de núcleo, capa secundaria y coraza, se consideró en principio que, por razones de proceso constructivo, se debe dar al núcleo una elevación de + 0.50 m sobre el nivel del pleamar medio, lo cual permitirá el mayor tiempo posible de



trabajos de construcción, tomando en cuenta el nivel de pleamar media es de 0.221 m., entonces la elevación del núcleo fue de 0.721 m.s.n.m.m.

El ancho considerado para la determinación de los volúmenes geométricos, tabla 5.5 fue de 3.50 m. por proceso constructivo; para los volúmenes reales se consideraron porosidades de 47% para elementos prefabricados y de 37% para roca. Las elevaciones de capa secundaria y coraza, tabla 5.6 en el caso del morro, se calcularon; para la capa secundaria, tomando en cuenta su espesor y sumándolo a la elevación del núcleo para la coraza, tabla 5.7 la elevación se determino por la altura de la ola de diseño más el nivel de pleamar máxima registrada .Tabla 5.8

**Tabla 5.5 ancho de la capa secundaria y coraza**

SECCION A LA PROFUNDIDAD	ANCHO CAPA SECUNDARIA		
ANCHO CORAZA			
MORRO 10.00	4.82		8.00
MORRO 6.00	4.45		63.78
10.00	4.75		9.25
9.00	4.65		9.00
8.00	4.65		9.00
7.00	4.50		8.25
6.00	4.36		7.43
5.00	4.22		6.68
4.00	4.22		6.68
3.00	4.22		6.68
2.00	4.22		6.68

**Tabla 5.8 Altura de ola de diseño más el nivel de pleamar máximo registrado**

SECCION A LA PROFUNDIDAD	ALTURA DE LA OLA		
DE DISEÑO			
MORRO 10.00	6.25		
MORRO 6.00	4.50		
10.00			6.25
9.00			6.00
8.00			6.00
7.00			5.25
6.00			4.50
5.00			3.75
4.00			3.75
3.00			3.75
2.00			3.75



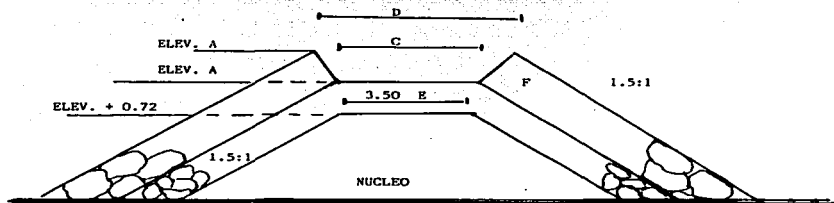


FIG.5.16 SECCION TIPICA DEL CUERPO DEL ROMPEOLAS

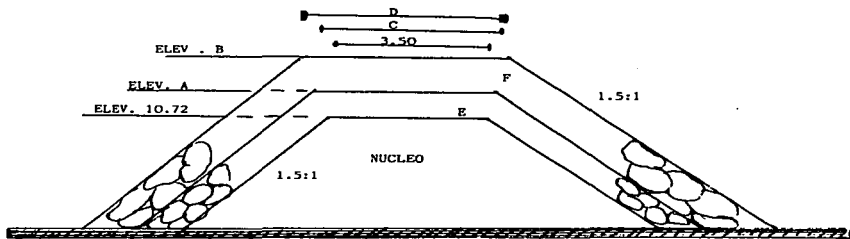


FIG.5.17 SECCION TIPO DE MORRO DEL ROMPEOLAS

tabla 5.6 elementos de la copa secundaria y coraza

SECCION A LA PROFUNDIDAD	ELEV. CAPA SECUNDARIA	ELEV. CORAZA	
MORRO	-10.00	2.92	8.30
MORRO	-6.00	2.30	6.19
-10.00		2.73	7.15
-9.00		2.65	6.90
-8.00		2.65	6.90
-7.00		2.41	6.20
-6.00		2.16	5.40
-5.00		1.92	4.65
-4.00		1.92	4.65
-3.00		1.92	4.65
-2.00		1.92	4.65

TABLA 5.7 Elevaciones de la capa secundaria y coraza, tomando en cuenta el nivel de pleamar máximo registrada.

SECCION A LA PROFUNDIDAD	ELEV. CAPA SECUNDARIA	ELEV. CORAZA.	
MORRO	-10.00	2.20	5.40
MORRO	-6.00	1.58	3.89
-10.00		2.00	4.95
-9.00		1.93	4.75
-8.00		1.93	4.75
-7.00		1.68	4.15
-6.00		1.44	3.54
-5.00		1.20	2.95
-4.00		1.20	2.95
-3.00		1.20	2.95
-2.00		1.20	2.95

Para el cálculo de los costos se utilizaron los siguientes precios.

Material	Ton		Ton.	Costo
Piedra núcleo de	0.01	a	1.0	12,000/ton
Piedra capa secundaria de	1.1	a	3.5	15,000/ton.
Coraza de	3.6	a	15.	18,000/ton.
Acarreo 1er km.				1,500/ton.
Acarreo Kms/subsecuentes				625/ton.
Cubos de concreto (m3)				30,000/m3.

Con todos los datos anteriores se procedió a realizar el cálculo de los costos de construcción inicial y de mantenimiento anual para diferentes alturas de ola de diseño que parten de la máxima altura de ola que puede romper a cada profundidad y van decreciendo con intervalos de 0.25 m. y secciones a las profundidades -10 m. a -2 m.

Para determinar la máxima ola rompiente a cada profundidad se consideró la relación  $d/H = 1.27$ . El costo total por metro lineal de rompeolas, así como los pesos de los elementos y volúmenes de cada capa se presentan en la tabla 5.9, para secciones a la profundidad de -10 m. y para el resto de las profundidades y en la tabla 5.10 para el morro a -10. .

Se sabe por otro lado, que cuando una altura de ola de diseño se rebasa, se generan daños de acuerdo al tipo de elementos de que está constituida. En el

cuadro siguiente se den los porcentajes de daños con relación a H/HD, considerados en el Shore Protection Manual, donde:

**HD=** Altura de ola con la que se diseñó.

**H =** Altura de ola que se presente.

<b>H/HD</b>	<b>% DE DESTRUCCIÓN</b>
1.00 - 1.08	5 %
1.08 - 1.19	10%
1.19-1.27	15%
1.27 - 1.37	20%
1.37- 1.47	30%
1.47- 1.56	40%
1.56 o MAYOR	100%

Utilizando la expresión de oleaje extraordinario, se calculó la probabilidad de que las alturas de ola entre en esos intervalos (tabla 5.11) y de que se presenten para profundidades - 10.0 m. y para otras profundidades.

Se puede calcular el costo esperado de daños para cada una de las alturas de ola consideradas multiplicando la probabilidad de que la ola entre en el intervalo de destrucción y por el costo de la coraza, asumiendo que ésta la que se destruye.

**Dicho costo de daños se actualiza para un horizonte económico de 25 años y para 3 diferentes tasas de interés: 5%, 10% y 15% en cada una de las secciones analizadas.**

**Los costos actualizados de daños se presentan para cada tasa de interés, para las distintas alturas de ola y la sección -10 m. en la tabla 5.12. Los costos totales de las obras de protección se presentan para la tasa de interés del 15%, se muestran en la tabla 5.13. Finalmente las alturas óptimas de diseño para cada sección y tasa de interés del 15% se muestran en la tabla 5.14 y las alturas elegidas para realizar los diseños óptimos en la tabla 5.15.**

**Ya elegidas las alturas de olas de diseño óptimas para cada sección se ajustó y detalló el diseño y la cuantificación de la obra.**

TABLA 6.9 DISEÑO DE SECCIONES Y COSTOS POR METRO LINEAL PROFUNDIDAD (F) - 10 METROS

ALTURA OLA	PESO CORAZA	PESO C.B.	BASE CORAZA	BASE C.S.	ELEV CORAZA	ELEV C.B.	VOLUME N.C.B.	VOLUME N.C.B.	COSTO CORAZA	COSTO COPA	COSTO TOTAL
	TON	TON	TON	B	M.S.M.M.	M.S.M.M.	M3M	M3M			
7.87	8.14	4.54	70.14	45.54	10.30	3.49	83.82	358.70	107,010,000.00	6,288,500.00	123,345,717.00
7.75	54.97	4.33	69.5	45.48	10.15	3.45	82.16	351.39	105,417,000.00	6,177,000.00	121,652,217.00
7.50	58.89	3.93	68.51	45.18	9.84	3.38	78.19	340.81	102,243,000.00	5,954,250.00	118,295,467.00
7.25	53.19	3.55	67.41	44.85	9.54	3.27	76.25	330.42	99,128,000.00	5,733,750.00	114,917,967.00
7.00	47.88	3.19	66.32	44.53	9.24	3.18	73.34	320.23	96,086,000.00	5,515,750.00	111,642,717.00
6.75	42.88	2.86	65.22	44.21	8.93	3.10	70.44	310.22	93,086,000.00	5,298,000.00	108,422,217.00
6.50	42.83	2.58	64.13	43.90	8.63	3.01	67.57	300.40	90,120,000.00	5,082,750.00	105,260,967.00
6.25	38.33	2.27	63.03	43.58	8.32	2.92	64.71	290.76	87,228,000.00	4,868,250.00	102,154,467.00
6.00	34.33	2.01	61.94	43.26	8.02	2.83	61.88	281.32	84,398,000.00	4,656,000.00	99,110,217.00
5.75	34.08	1.77	60.94	42.96	7.72	2.74	59.06	272.07	81,621,000.00	4,444,500.00	96,123,717.00
5.50	30.15	1.55	59.75	42.95	7.41	2.58	56.27	253.00	75,900,000.00	4,235,250.00	90,193,467.00
5.25	28.54	1.35	58.65	42.83	7.11	2.57	53.50	254.12	78,236,000.00	4,027,500.00	90,321,717.00
5.00	17.45	1.18	57.58	42.31	6.80	2.48	50.47	245.43	73,829,000.00	3,800,250.00	87,487,467.00
4.75	14.95	1	56.46	42.00	6.50	2.39	48.01	236.93	71,078,000.00	3,615,750.00	84,752,967.00
4.50	12.72	0.75	55.37	41.58	6.19	2.30	45.30	228.52	68,556,000.00	3,412,500.00	82,028,717.00
4.25	10.72	0.51	54.27	41.05	5.89	2.22	42.51	220.50	66,150,000.00	3,203,250.00	79,411,467.00
4.00	8.93	0.6	53.18	40.73	5.59	2.13	39.94	212.56	63,768,000.00	3,010,500.00	76,838,717.00
3.75	7.36	0.49	52.08	40.41	5.28	2.04	37.29	204.56	61,368,000.00	2,811,750.00	74,237,967.00
3.50	9.55	0.84	53.57	40.84	5.70	2.16	40.30	258.04	23,453,264.00	3,037,500.00	36,548,961.00
										Vol. Real del Nucleo	132.26 M3M
										Elevación del nucleo	0.72
										Base de nucleo (A)	35.66 m.
										Costo de Nucleo	10,058,217.00
										Suma Total	1,802,712,137.00

TABLA 8.10 DISEÑO DE SECCIONES Y COSTOS POR METRO LINEAL PROFUNDIDAD (F) MORRO

ALTAURA	PESO		BASE	BASE	ELEV	ELEV	VOLUME	VOLUME	COSTO	COSTO COPA	COSTO TOTAL
	CORAZA	C.S.	CORAZA	C.S.	CORAZA	C.S.	N.C.S.	N.C.S.			
OLA	TON	TON	CORAZA	S	M.S.M.M.	M.S.M.M.	H3H	H3H	CORAZA		
7.87	52.42	3.44	57.21	44.76	8.77	3.25	75.42	190.78	57,234,000.00	8,237,150.00	73,529,367.00
7.75	49.90	3.28	66.71	44.81	8.88	3.21	74.10	186.82	56,046,000.00	6,128,250.00	72,232,467.00
7.50	45.30	2.98	63.71	44.32	8.40	3.13	71.45	178.62	53,678,000.00	5,909,625.00	69,643,542.00
7.25	40.92	2.89	64.71	44.04	8.15	3.05	68.83	171.14	54,342,000.00	5,893,475.00	67,093,692.00
7.00	36.03	2.42	63.71	43.75	7.90	2.97	66.22	163.49	49,047,000.00	5,478,150.00	64,583,367.00
6.75	33.02	2.20	62.75	43.50	7.85	2.90	63.97	154.49	46,947,000.00	5,292,525.00	62,297,742.00
6.50	29.49	1.94	61.71	43.17	7.40	2.81	61.05	148.57	44,571,000.00	5,051,625.00	59,680,942.00
6.25	25.21	1.72	60.70	42.00	7.10	2.73	50.49	141.29	42,387,000.00	4,340,425.00	57,285,942.00
6.00	23.19	1.92	59.70	42.59	6.90	2.85	55.49	134.14	40,242,000.00	4,582,925.00	54,893,142.00
5.75	20.14	1.34	58.70	42.30	6.68	2.97	83.42	127.11	37,123,000.00	4,221,450.00	52,813,367.00
5.50	17.86	1.17	57.70	42.01	6.40	2.49	90.91	120.21	36,063,000.00	4,215,075.00	50,336,292.00
5.25	15.54	1.02	54.70	41.73	6.15	2.41	48.94	113.44	34,032,000.00	4,052,550.00	48,142,767.00
5.00	13.42	0.88	53.70	41.44	5.90	2.32	45.40	106.79	32,075,000.00	3,787,100.00	45,862,317.00
4.75	11.51	0.86	54.69	41.15	5.68	2.24	43.48	100.25	30,075,000.00	3,602,100.00	43,735,317.00
4.50	9.44	0.64	53.83	40.86	5.40	2.16	41.04	111.02	10,169,432.00	3,400,800.00	23,628,449.00
4.25	8.12	0.54	52.63	40.57	5.15	2.08	38.61	103.50	9,480,800.00	3,200,325.00	22,739,142.00
4.00	6.77	0.45	51.53	40.28	4.90	2.00	36.21	94.32	8,822,912.00	3,002,325.00	21,863,454.00
3.75	5.58	0.37	50.63	39.99	4.65	1.92	33.02	9.19	8,169,804.00	2,805,150.00	21,033,171.00
3.50	5.54	0.30	49.64	39.70	4.40	1.94	31.44	2.21	7,530,436.00	2,608,800.00	20,197,453.00

105

VOL REAL NUCLEO 132.26 H73H  
 Elevacion nuclear 0.72 m.s.m.m.  
 Base de nucleo (A) 35.66 m.  
 Costo del nucleo 10,058,217.00  
 Suma Total 857,882,465.00

**TABLA 5.11**  
**PROBABILIDAD DE OCURRENCIA A LA PROFUNDIDAD SECCIÓN A**  
**LA PROFUNDIDAD -10.00H**

OLA							
ROPIENTE 7.87							
H/HD	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56	1.67
DAÑOS							
HD	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%	30.00%	40.00%	100.00%
7.87	4.86	3.19	1.80	0.55	0.30	0.13	0.07
7.75	5.44	3.52	1.23	0.77	0.35	0.15	0.09
7.50	6.84	4.65	1.63	1.04	0.49	0.21	0.12
7.25	8.58	5.97	2.14	1.40	0.57	0.30	0.18
7.00	10.76	7.66	2.82	1.88	0.93	0.43	0.26
6.75	13.47	9.81	3.70	2.52	1.28	0.60	0.37
6.50	16.84	12.55	4.58	3.38	1.75	0.85	0.54
6.25	21.02	16.04	6.35	4.53	2.41	1.19	0.78
6.00	26.21	20.47	8.31	6.06	3.31	1.57	1.12
5.75	32.41	26.07	10.84	8.09	4.53	2.35	1.61
5.50	40.51	33.14	14.13	10.78	6.19	3.28	2.32
5.25	50.21	42.05	18.37	14.33	8.44	4.59	3.32
5.00	62.62	53.23	23.84	19.01	11.45	6.39	4.74
4.75	76.62	67.22	30.85	25.16	15.59	8.39	6.76
4.50	94.28	84.57	39.82	33.20	21.10	12.32	9.60
4.25	100.00	100.00	51.24	43.69	28.47	17.03	13.61
4.00	100.00	100.00	65.71	57.30	38.19	23.47	19.22
3.75	100.00	100.00	83.94	74.85	51.29	32.20	27.04
3.50	100.00	100.00	100.00	97.34	68.41	44.00	37.87



**TABLA 5.12 COSTO ANUAL ESPERADO DE DAÑOS**

Prof. 10.00

ALTURA DE HD	TASA DE INTERÉS		
	5.00%	10.00%	15.00%
7.67	\$1,5958,711.00	\$1,262,129.00	\$896,816.00
7.75	\$2,419,798.00	\$1,384,552.00	\$985,999.00
7.50	\$2,586,659.00	\$1,665,907.00	\$1,186,364.00
7.25	\$7,424,593.00	\$4,781,722.00	\$3,405,269.00
7.00	\$9,011,754.00	\$5,803,915.00	\$4,133,216.00
6.75	\$10,914,857.00	\$7,029,586.00	\$5,006,069.00
6.50	\$17,745,298.00	\$11,428,651.00	\$80,138,632.00
6.25	\$21,555,514.00	\$13,882,577.00	\$9,886,378.00
6.00	\$33,323,746.00	\$21,461,769.00	\$15,283,845.00
5.75	\$40,544,969.00	\$26,176,917.00	\$18,641,704.00
5.50	\$58,858,132.00	\$37,904,315.00	\$26,993,286.00
5.25	\$80,864,351.00	\$52,041,094.00	\$37,060,695.00
5.00	\$129,788,277.00	\$83,582,180.00	\$59,522,451.00
4.75	\$163,008,629.00	\$104,983,201.00	\$74,763,462.00
4.50	\$85,217,294.00	\$54,883,201.00	\$39,084,6798.00
4.25	\$106,311,294.00	\$66,468,573.00	\$48,759,475.00
4.00	\$130,475,1985.00	\$84,029,736.00	\$59,841,175..00
3.75	\$161,734,360.00	\$104,163,122.00	\$74,179,022.00

**TABLA 5.13 Costo Total de las Obras por Metro Lineal.**

Profundidad

-10.00M.

ALTURA OLA	COSTO CORAZA	COSTO TOTAL
7.87	57,234,000.00	73,529,367.00
7.75	56,046,000.00	72,232,467.00
7.50	53,676,000.00	69,232,467.00
7.25	51,342,000.00	67,093,692.00
7.00	49,047,000.00	64,583,367.00

**TABLA 5.14 ALTURA DE DISEÑO OPTIMA (M) SEGÚN LA SECCIÓN Y LA TASA DE INTERÉS.**

ALTURA DE Hd	5.00%		TASA DE INTERÉS		5.00%	
	CONCRETO ROCA		CONCRETO ROCA		CONCRETO ROCA	
-5		3.75		3.75		3.75
-6	4.72	4.50		4.50		4.50
-7	5.25	4.50	5.25	4.50	5.24	4.50
-8	6.00		6.00	4.50	6.00	4.50
-9	6.75		6.75		6.00	4.50
-10	7.50		6.75		6.25	4.50

**TABLA 5.15 ALTURA DE OLA DE DISEÑO SELECCIONADA**

PROFUNDIDAD DE LA SELECCIÓN	ALTURA DE LA OLA DE DISEÑO	ELEMENTOS DE LA CORAZA
(m)	(m)	
-10	6.25	CUBOS MODIFICADOS
-9	6	CUBOS MODIFICADOS
-8	5.25	CUBOS MODIFICADOS
-7	4.5	CUBOS MODIFICADOS
-6	3.75	ROCA
-5	3.75	ROCA
-4	3.75	ROCA
-3	3.75	ROCA
-2	3.75	ROCA

## **v.1. BANCOS DE MATERIAL**

### **GENERALIDADES**

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de las obras de protección corresponden a los materiales, roca o elementos prefabricados, por lo que su localización y selección del primero de ellos se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero civil, en relación estrecha con el geólogo. Es necesario darle a esta tarea la debida importancia, pudiendo localizar bancos de materiales importantes cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación que suelen ser de los que más afectan los totales.

Es urgente e importante centralizar de alguna manera toda la información que día a día va surgiendo sobre materiales utilizables, localización, volúmenes aprovechables, etc.; una vez bien realizada esta etapa a nivel nacional, las instituciones relacionadas con el tema o constructoras del país podrían obtener considerable ahorro en la búsqueda de materiales, a la vez disponer para una utilización determinada, de toda la experiencia de quienes antes hayan usado el mismo banco, para los mismos fines. Una tarea como la que se plantea de su ejecución podrá rendir provechosos frutos.

En épocas más recientes los estudios geofísicos, de gran potencialidad en estas cuestiones han venido a sumarse a la técnica disponible, ahorrando

**mucho tiempo y esfuerzo humano en exploraciones. En las rocas puede presentarse con muy diversos grados de alteración lo que aún es difícil de precisar ya que ésta puede presentar características muy diversas y en ocasiones hasta mixtas.**

**Un punto fundamental en la determinación de bancos de material es la valuación de las rocas, la que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. En lo que se refiere a las rocas, dos puntos principales deben merecer atención.**

**El primero se refiere a los cambios físicos que la roca puede sufrir por fragmentación durante la extracción, por manejo o duración de colocación; el segundo a la alteración físico-química que pueda tener lugar durante la vida útil de la obra.**

**Cada caso requiere la realización de pruebas de campo y laboratorio sobre las rocas que forman el banco en estudio. La mejor prueba de campo es quizá, la duplicación de un proceso de excavación análogo al que después se usará en forma masiva para ver objetivamente qué material se obtiene; ésta será necesariamente, una prueba a escala suficientemente grande, como para ser realista.**

**La posibilidad de deterioro de la roca con el tiempo es mucho más difícil de establecer. Quizá la mejor orientación pueda tenerse observando lugares en que la roca haya estado expuesta durante mucho tiempo.**

### **V.1.1 SUMINISTRO DE MATERIALES.**

Los fragmentos de roca para aplicarse al proyecto en estado natural pueden ser:

<b>Roca</b>	<b>Tipo</b>
1.- Ígneas Intrusivas (Grano Grueso)	Granito Diorita
2.- Ígneas Extrusivas (Grano Grueso)	Riolita Andesita Basalto Toba Brecha Volcánica
3.- Sedimentarias	Caliza Travertino Arenisca Conglomerado Brecha
4.- Metamórficas	Gneis

Normas que deberán cumplir las rocas para su aplicación en los rompeolas.

1. Resistencia a la compresión en estado Húmedo  $150 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Resistencia a la compresión en estado Húmedo aplicando la carga paralelamente a los planos de formación, cuando los haya  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

<b>3.- Absorción en por ciento</b>	<b>4.0 máximo.</b>
<b>4. Densidad</b>	<b>2.3 mínimo.</b>
<b>Resistencia al intemperismo acelerado, en por ciento de pérdida en peso</b>	<b>10.0 máximo.</b>
<b>6. Resistencia al desgaste determinado por la prueba de los ángeles, en por ciento</b>	<b>40.0 máximo.</b>

En las instalaciones de la zona de estudio no existen bancos de roca susceptibles de dotar materiales para la construcción, de las escolleras. De esta manera la investigación se enfocó a 3 zonas que distan 65 km. (zona 1), 40 km. (zona 2) y 35 km. (zona 3) en promedio. Dichas zonas se muestran en la figura 6.1

La zona 2 se exploró en calizas, en la zona 2 basalto y en la zona 3 andesita. Las características de los basaltos estudiados se muestra en el cuadro comparativo tabla 6.1 de bancos de roca. De aquí se establece que el banco más atractivo para explotar roca susceptible de utilizarse en la coraza es la Atoyac, donde también se podrán obtener bloques para la capa secundaria.

Desafortunadamente su lejanía a la zona de estudio 65 km. puede ser un grave inconveniente. Por otro lado, presenta la ventaja de fácil acceso, su proximidad a la vía Férrea México-Veracruz y el hecho de ser un banco abandonado, facilitará su explotación. Sin embargo su calidad no es muy recomendable ya que tiene una resistencia baja 300 kg/cm<sup>2</sup> y el desgaste

obtenido en la prueba de Abrasión 33.8 se considera alto para utilizarla como coraza.

De la zona 3 los bancos más atractivos por su acceso y alto valor obtenido durante la prueba de intemperismo (32.3) hacen que se considere aptos para utilizarse en la coraza, son Conejillos y Naranjos, donde podría obtenerse material para núcleo y capa secundaria, mientras que el Banco Buenavista (y de la parte inferior del Banco Naranjos) es factible obtener un reducido porcentaje de bloques para la coraza. Estos tres bancos se ubican en la margen izquierda del Arroyo Paso de la Milpa, formando escarpes de entre 20 a 40 m. de altura, por lo que es posible que a todo lo largo de este cordón (9 km) se tenga condiciones litográficas semejantes; de manera que, en conjunto, resultan muy atractivos para continuar su estudio.

Esto a pesar de que se requiera el trazo y construcción de un camino de acceso al Banco Buenavista. La roca basáltica tiene una buena calidad para su uso como enrocamiento, ya que su densidad, resistencia a la compresión, abrasión e intemperismo son aceptables.

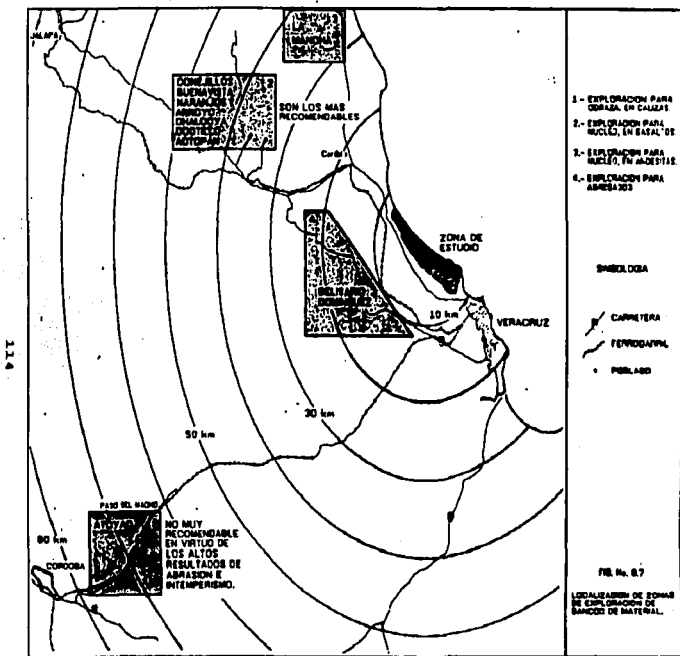


Figura 6.1 Localización de zonas de exploración de bancos de materiales.





## **VII. CONCLUSIONES**

La importancia de conocer más a fondo la serie de propuestas teóricas que aquí se plantearon, es con la finalidad de saber más acerca de las obras de protección, ya que se consideran una de las partes fundamentales en cualquier puerto en este caso Veracruz, Veracruz.

Veracruz el puerto más importante de la República Mexicana el que asegura el comercio Nacional e Internacional y es por eso que se realizaron una serie de estudios oceanográficos, de refracción de oleaje, y una serie de alternativas de las obras de protección más adecuadas, tomando en cuenta las características del puerto. Llegando a la conclusión que la obra de protección que cumple con las características, del puerto es el rompeolas a talud; ya que cumple con las funciones adecuadas al puerto.

Hoy en día la hidráulica Marítima Portuaria ha sido desarrollando nuevas técnicas en lo relacionado a la ingeniería de costas, tomando mucho en cuenta las condiciones y los costos que estos involucran. Es por ello que la planeación y el diseño redundan mucho en costos de obra, especialmente en el caso de la obra de protección (rompeolas a talud), ya que el costo de construcción está en función con respecto al costo de mantenimiento.

## VIII BIBLIOGRAFÍA

**Manual de Diseño de OBRAS CIVILES.** Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1983.

**Ingeniería de Costas.** Armando Frías V, Gonzalo Moreno C. 1988.

**Características Generales de las Ondas Progresivas Regulares.** Texto para el proyecto del Centro Hidráulico Portuario Vol. 1. México Office Japan Internacional Cooperation Agency. Nov. 1985.

**Métodos de Diseño de las estructuras Hidráulicas introduciendo el concepto de la irregularidad del Oleaje (2).** Oleaje de Diseño, Deformación del oleaje, Alcance, Overtopping y transmisión del Oleaje y Oleaje en el Puerto. (Vol. 12). Texto para el proyecto del Centro Hidráulico Portuario Vol. 1. Mexico Office Japan International Cooperation Agency. Mayo de 1988.

**Diseño de rompeolas de piedra y de tipo compuesto.** 4º Curso Internacional de Ingeniería Hidráulica Portuaria. Ingeniero Rolando Madrid Montes de Oca. 1991.

**Tablas de 1991. Predicción de Marea.** Instituto de Geofísica U.N.A.M.

**Plan de Desarrollo del Puerto de Veracruz.** Estudios Físicos Generales. Xaleph Ingenieros Consultores S.A. de C.V. Septiembre de 1990.

## GLOSARIO

**Oleaje.-** Es el movimiento oscilatorio de la superficie del mar.

**Celeridad.-** Velocidad con la cual se desplaza la ola, es decir  $C=L/T$ .

**Coriolis.-** Fuerza debida a la rotación de la tierra.

**Tsunamis.-** Asentimientos que sufren los fondos marinos.

**Rompiente.-** Ola rompiendo sobre playa, arrecife, etc. La rompiente se puede clasificar en tres tipos.

**Refracción.-** Cambio en la dirección del oleaje al encontrarse con obstáculos el cual provoca la disminución de la velocidad.

**Hinterland.-** Área de influencia donde se distribuyen los productos que se reciben por vía marítima.

**SEA.-** Olas generadas por viento en el lugar donde éste se encuentra.

**SWELL.-** Olas que han viajado fuera de la zona donde fueron generadas, y presentan un periodo y longitud más regulares, y tienen cresta más planas que las SEA.

**fondeadero o darsena.**

**Periodo de ola.-** Es el tiempo que tarda una cresta o valle en presentarse.

**Longitud de ola.-** Es la distancia que existe entre las crestas o los valles.

**Onda Solitaria.-** Es una ola que se genera como consecuencia de los Tsumanis, el cual carece de periodo y longitud no importando la altura que ésta levante.

**Bordo de protección.-** Es una obra que protege todas aquellas obras menores para evitar sean destruidas por el golpe de las olas, por lo regular este tipo de obra puede llegar a tener longitudes considerables.

**Altura de ola rompiente.-** Distancia vertical que alcanza una ola al romper.

**Profundidad de rompiente.-** Es la profundidad en la cual un tren de olas rompen ya sea por obstáculos naturales o artificiales.

## **SIMBOLOGÍA**

<b>Ho</b>	=	<b>Altura de ola en aguas profundas.</b>
<b>H<sub>1/3</sub></b>	=	<b>Altura de ola 1/3.</b>
<b>W</b>	=	<b>Peso del elemento de la coraza.</b>
<b>d</b>	=	<b>Profundidad del agua.</b>
<b>H<sub>d</sub></b>	=	<b>Altura de ola de diseño.</b>
<b>H<sub>b</sub></b>	=	<b>Altura de ola rompiente.</b>
<b>H</b>	=	<b>Altura de ola que se presenta.</b>
<b>db</b>	=	<b>Profundidad de rompiente.</b>
<b>K<sub>d</sub></b>	=	<b>Coefficiente de trabazón de los elementos de la coraza.</b>
<b>Sr</b>	=	<b>Densidad relativa de los elementos de la coraza.</b>
<b>Nr</b>	=	<b>Número de capas de los elementos de la coraza.</b>
<b>B</b>	=	<b>Ancho de la corona.</b>
<b>r</b>	=	<b>Espesor promedio de la coraza.</b>
<b>K</b>	=	<b>Coefficiente de capa.</b>
<b>P</b>	=	<b>Porosidad promedio de la coraza en %</b>

- g** = Aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/seg}^2$ )
- T** = Periodo de la ola.
- Lo** = Longitud de ola en aguas profundas.
- Cg** = Celeridad de grupo.
- Ks** = Coeficiente de propagación (en aguas someras).
- Kr** = Coeficiente de refracción.
- h** = Altura vertical entre la superficie libre de la onda y el nivel de reposo.
- y** = Periodo de retorno en años.
- a** = Ángulo de talud con respecto a la horizontal.
- g** = Peso específico de los elementos de la coraza ( $\text{T/m}^3$ )
- gs** = Densidad del agua de mar.
- q** = Dirección del oleaje.
- Dr** = Cambio de dirección del oleaje dentro del ancho d (d ancho en el material de continuidad).