

2
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

**ROMPEOLAS:
OBRA MARITIMA DE
PROTECCION PORTUARIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ROGELIO CARDENAS VELAZQUEZ

ACATLAN, EDO. DE MEX. 1996



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**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
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. ROGELIO CARDENAS VELAZQUEZ.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
PRESENTE.

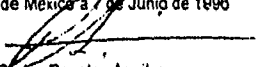
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 25 de enero de 1993, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis titulado "ROMPEOLAS. OBRA MARITIMA DE PROTECCION PORTUARIA" que el cual se desarrollará como sigue:

INTRODUCCION

- I. CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS.
 - II. ROMPEOLAS
 - III. TIPOS DE ROMPEOLAS EN DIFERENTES PUERTOS NACIONALES.
- CONCLUSIONES.

Así mismo fue designado como asesor de tesis el ING RAUL ANTONIO CORREA ARENAS, profesor de esta escuela. Ruego a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlán Edo. de México a 7 de Junio de 1996


Ing. Carlos Rosales Aguilar.
Jefe del Programa de Ingeniería Civil



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

**A MI MADRE, A QUIEN DEBO TANTO Y ADMIRO
POR SU GRAN PERSEVERANCIA Y AMOR.**

A MI FAMILIA

A MIS ASESORES DE TESIS, QUIENES CON
SU EXPERIENCIA, FORMAN INGENIEROS QUE
SE REQUIEREN EN LA ACTUALIDAD.

ROMPEOLAS: OBRA MARITIMA DE PROTECCION PORTUARIA.

INDICE

INDICE	1
INTRODUCCION.	4
CAPITULO 1	
<u>Características oceanográficas.</u>	
1.1. Viento.	6
1.2. Oleaje.	11
1.2.1. Oleaje por viento.	12
1.2.2. Oleaje ciclónico.	15
1.2.3. Oleaje rompiente.	21
1.2.4. Oleaje de diseño.	24
1.3. Mareas.	27
1.3.1. Marea astronómica.	28
1.3.2. Marea de viento.	29
1.3.3. Marea de tormenta.	31
1.4. Corrientes.	33
1.5. Arrastre litoral.	36
CAPITULO 2	
Rompeolas.	
2.1. Definición.	43

2.2. Configuración de los rompeolas	43
2.2.1. De un solo brazo	43
2.2.2. De dos brazos	43
2.2.3. De dos brazos convergentes	44
2.3. Clasificación de los rompeolas	45
2.3.1. Enrocamiento	45
2.3.2. Elementos de coraza de concreto precolado	46
2.3.3. De pared vertical	46
2.3.3.1. Cajones de concreto	52
2.3.3.2. Cajones de madera	53
2.3.3.3. Rompeolas de tablas de madera	54
2.3.4. Rompeolas neumático e hidráulico	55
2.3.5. Rompeolas sumergidos	56
2.4. Factores que determinan la construcción de un rompeolas	58
2.5. Construcción de rompeolas de talud	61
2.6. Diseño de rompeolas de promontorio	67

CAPITULO 3

Tipos de rompeolas en diferentes puertos nacionales

3.1 Pacífico	79
3.2 Golfo y Caribe	92
Conclusiones.	101
Glosario	103
Bibliografía	106

2.2. Configuración de los rompeolas.	43
2.2.1. De un solo brazo.	43
2.2.2. De dos brazos.	43
2.2.3. De dos brazos convergentes.	44
2.3. Clasificación de los rompeolas.	45
2.3.1. Enrocamiento.	45
2.3.2. Elementos de coraza de concreto precolado	46
2.3.3. De pared vertical.	48
2.3.3.1. Cajones de concreto.	52
2.3.3.2. Cajones de madera.	53
2.3.3.3. Rompeolas de tablaestaca.	54
2.3.4. Rompeolas neumático e hidráulico.	55
2.3.5. Rompeolas sumergidos.	56
2.4. Factores que determinan la construcción de un rompeolas.	58
2.5. Construcción de rompeolas de talud.	61
2.6. Diseño de rompeolas de promontorio.	67
CAPITULO 3	
<u>Tipos de rompeolas en diferentes puertos nacionales</u>	
3.1 Pacífico	79
3.2 Golfo y Caribe	92
Conclusiones.	101
Glosario	103
Bibliografía	106

OBJETIVO GENERAL:

Se tiene como finalidad una investigación genérica de la obra marítima exterior de protección portuaria: ROMPEOLAS, tanto de sus diferentes formas y tipos, sus materiales constitutivos, así como de los existentes en el país.

OBJETIVO DEL CAPITULO 1

Mostrar y explicar las características oceanográficas que se deben considerar para cualquier tipo de rompeolas.

OBJETIVO DEL CAPITULO 2

Dar definición detallada de los rompeolas (geometría, materiales y tipos), ilustración del proceso constructivo del rompeolas y diseño del mismo.

OBJETIVO DEL CAPITULO 3

Exposición de los rompeolas existentes en el país, así como su ubicación y extensión.

INTRODUCCION.

Las tres cuartas partes de la superficie del globo terráqueo están cubiertas por el mar, al hecho que éste, rodea todas las tierras habitadas, aunque sea difícil de vislumbrar, cuando se vive en tierra firme. Y fue a lo largo de las costas del mar donde se desarrollaron algunos de los primeros asentamientos humanos, siendo el primer viaje largo del hombre por mar. Por lo que en muchos siglos, el viajar por costas y océanos fue el único medio de transporte masivo.

En particular, el mar Mediterraneo es considerado en muchos aspectos, como una de las cunas de la historia de la civilización.

Para el diseño y construcción de las obras marítimas, el movimiento del mar es más importante para el Ingeniero Civil que las propiedades específicas de su agua. Por otro lado, el viento es el principal factor en la formación de las olas y corrientes, así como el movimiento irregular de las mareas, y juntos son los puntos más importantes para el diseño de obras marítimas.

Cuando las costas no ofrecen lugares con las condiciones adecuadas de protección para que se construya un puerto, entonces resulta conveniente crearlas, formando lo que se ha definido como un puerto artificial, para tener un área de agua adecuadamente protegida de los efectos del oleaje y mareas, y las embarcaciones puedan realizar la función de transferir la carga con seguridad y rapidez.

La localización de un puerto no siempre se hace sobre la costa, de ahí que sea frecuente encontrar puertos en la margen de un río o de un lago al que hay que llegar por medio de canales o mejorando las condiciones de navegación de los ríos, como lo es la rectificación del cauce, eliminando meandros o profundizándolos. La creación de estas condiciones favorables para permitir el acceso de los buques a los puertos, implica alterar las condiciones existentes de la costa, lo cual se logra con las estructuras llamadas ROMPEOLAS O ESCOLLERAS, similares en su forma y estructura.

CAPITULO I

Características oceanográficas.

1.1. Viento.

1.2. Oleaje.

1.2.1. Oleaje por viento.

1.2.2. Oleaje ciclónico.

1.2.3. Oleaje rompiente.

1.2.4. Oleaje de diseño.

1.3. Mareas.

1.3.1. Marea astronómica.

1.3.2. Marea de viento.

1.3.3. Marea de tormenta.

1.4. Corrientes.

1.5. Arrastre litoral.

1.1. Viento.

Se define como el movimiento de las masas de aire. El aire se desplaza de los sitios en donde la presión es mayor hacia los lugares en donde es más baja. Por la rotación de la Tierra, el aire no viaja siguiendo una línea normal a las isobaras, sino que se desplaza con cierta inclinación respecto de ellas. Este desplazamiento genera el viento geostrófico. La velocidad de este viento, depende de la latitud del lugar y del espaciamiento entre las isobaras y varía con la altura sobre la superficie terrestre, aumentando con ella. La parte inferior del viento geostrófico, que es quien produce el oleaje, se llama viento formativo y por lo antes dicho, tiene una velocidad menor que la media del viento geostrófico. La velocidad del viento formativo, depende de la curvatura de las isobaras y, de la diferencia de temperaturas entre el aire y el mar.

Los vientos se pueden clasificar de dos formas:

De acuerdo a su acción.

- **Constantes o regulares:** Soplan en una sola dirección todo el año.
- **Periódico:** Invierten su dirección con las estaciones del año o con el día y noche.
- **Irregulares:** Son los que carecen de periodicidad y soplan en una y otra dirección, indiferentemente.

De acuerdo a su extensión:

- **Generales o planetarios.**
- **Locales.**

Como ejemplo de los vientos constantes y a su vez generales, se encuentran los vientos Alisios, Contralisios y Polares o Vientos del Oeste.

Los elementos que caracterizan al viento son:

- 1.- Dirección
- 2.- Intensidad
- 3.- Frecuencia que se presenta con determinadas características, durante un lapso cualquiera

Cálculo del viento geostrófico y viento real o formativo.

Si las isobaras son rectas y paralelas, se dice que se trata de un viento geostrófico, el cual se ve influenciado por la fuerza de presión y la fuerza de Coriolis; para su cálculo, se utiliza la siguiente expresión:

$$V_g = (1/2 \rho_a \omega \sin \phi) (\Delta p / \Delta n)$$

donde:

V_g = Velocidad del viento geostrófico en m/s

$\Delta p / \Delta n$ = gradiente horizontal de presión atmosférica

ρ_a = densidad de aire, en $\text{kgf s}^2 / \text{m}^2$

ω = velocidad angular de la tierra, igual a $7.292 \cdot 10^{-5}$ rad/seg

ϕ = latitud que corresponda al centro de gravedad de la zona de generación, en grados

En la fig. 1.1, se presenta una gráfica que permite también calcular el viento geostrófico.

Conocido el valor de V_g , se afecta por dos factores para obtener el valor del viento formativo o real:

- a) Factor de ajuste por curvatura en las isobaras
 - Para isobaras casi rectas. El factor es igual a 1
 - Para anticiclones. El factor es igual a 1.1
 - Para ciclones. El factor es igual a 0.9

Un ciclón se distingue porque, el centro es de baja presión y los vientos fluyen alrededor de éste, tratando de ir hacia el centro y para un anticiclón el centro es de alta presión y los vientos que fluyen alrededor de éste, tratan de alejarse de dicho centro.

b) factor de ajuste por la diferencia de temperatura entre el mar y el aire (relación entre velocidad de viento por superficie a velocidad de viento geostrofico), como se indica en la tabla 1.1.

Temperatura del mar menos la del aire, en grados C	Factor de temperatura
C o negativa	0.60
de 0 a 10	0.65
de 10 a 20	0.75
20 o mayor	0.90

(Cercano a 0.60 se usa para trabajo de rutina.)

Tabla 1.1 Factor de ajuste tomando en cuenta la diferencia de temperatura entre el mar y el aire.

La duración del viento formativo.

Es el tiempo durante el cual el viento real o formativo, con velocidad constante, sopla a lo largo de un Fetch determinado, generalmente se expresa en horas. Para estimarla se utilizan los mapas de superficie, empleando las características isobáricas mostradas en ellos, y que generalmente están calculadas cada 6 hrs.

De la observación de la orientación del Fetch para un sitio en estudio, se estima subjetivamente la persistencia del viento en la zona de la generación, utilizando para ello, las características isobáricas indicadas por los mapas de superficie y la rosa de los vientos.

La dirección, frecuencia e intensidad del viento en un lugar durante un cierto período de tiempo, por ejemplo un año, se representa gráficamente por la rosa de los vientos, como se muestra en la figura 1.2.

A continuación se muestra una escala de velocidad del viento denominado criterio de BEAUFORT:

NUMERO DE BEAUFORT	DESCRIPCION	VELOCIDAD (m/s)
0	CALMA	0 - 0.2
1	AIRE LIGERO	0.3 - 1.5
2	BRISA LIGERA	1.6 - 3.3
3	BRISA SUAVE	3.4 - 5.4
4	BRISA MODERADA	5.5 - 7.9
5	BRISA FRESCA	8.0 - 10.7
6	BRISA FUERTE	10.8 - 13.8
7	VENTARRÓN MODERADO	13.9 - 17.1
8	VENTARRÓN FRESCO	17.2 - 20.7
9	VENTARRÓN FUERTE	20.8 - 24.4
10	VENTARRÓN INTENSO	24.5 - 28.4
11	TORMENTA	28.5 - 32.6
12	HURACÁN	sobre 32.7

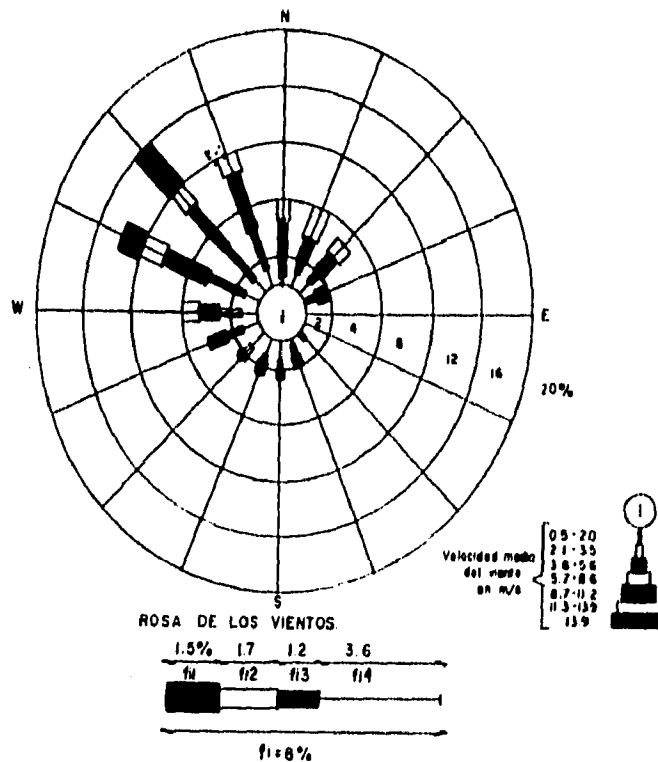


fig. 1.2 Representación gráfica de la rosa de los vientos

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{\Delta p}{\rho w \sin \theta} \frac{\Delta n}{\Delta n}$$

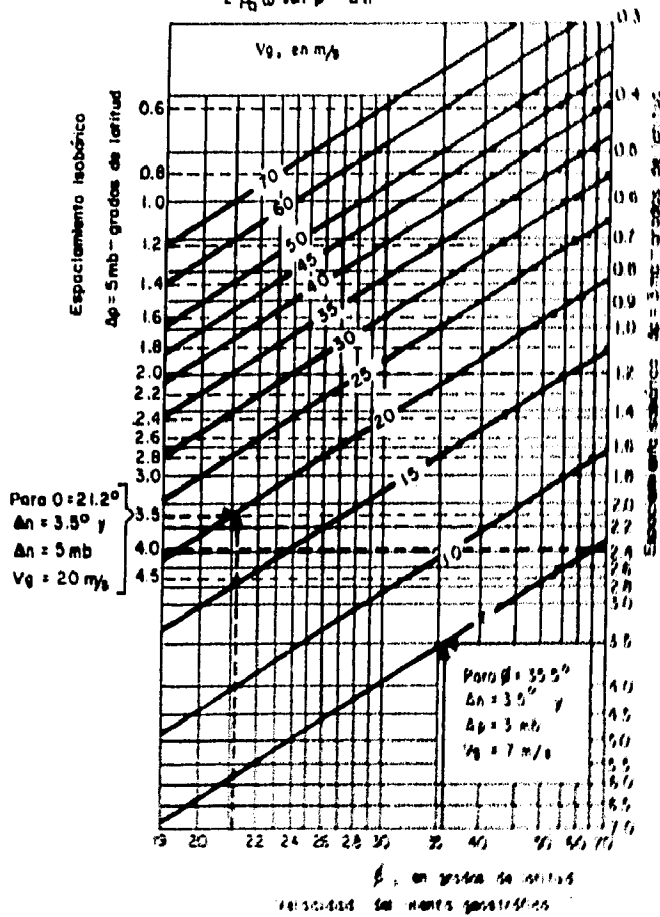


Fig. 1.1 Velocidad del viento generalizado

1.2. Oleaje

Se llama oleaje al movimiento oscilatorio de la superficie del mar.

El comportamiento del oleaje es uno de los más intrigantes y probablemente uno de los fenómenos naturales menos entendidos. El oleaje puede ser causado artificialmente ya sea por el movimiento de vasos contenedores o mediante explosiones; o podría ser causado por temblores-tsunami (tienen periodos de varios cientos de minutos), mareas (tienen periodos de 12 a 24 hrs.) o vientos (que tienen periodos de 1 a 30 seg, aún cuando en condiciones particulares pueden llegar hasta los 30 seg.). Este último, el cual produce el oleaje es en el que los ingenieros están más interesados y el cual tiene la mayor influencia en el diseño de las estructuras marinas.

Para describir el oleaje, se presenta la siguiente figura 1.3:

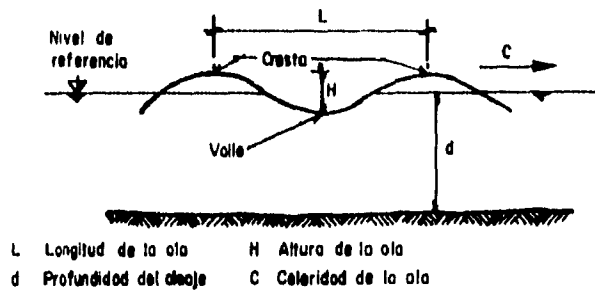


fig. 1.3 Onda de oleaje idealizada

La altura de la 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 dirección horizontal entre dos crestas o valles consecutivos.

Otra característica importante de la onda del oleaje está dada por su período (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 período: $W = 1/T$.

Diferentes organismos de algunos países, publican resultados de las observaciones hechas por sus embarcaciones en todos los mares del mundo. Las observaciones permiten conocer, mes a mes en cada una de las diversas regiones, los porcentajes de los oleajes provenientes de distintas direcciones y con determinadas alturas de ola. Generalmente, las olas se designan como bajas, si su altura está entre 0.30 y 0.75 m; medias si están entre 0.75 y 1.5 m; y altas si son mayores de 1.5 m. Si la altura de la ola es inferior a 0.30m, se dice que se trata de una calma.

Algunas firmas de ingeniería, proporcionan información un poco más precisa, a un costo más elevado; pero la utilidad de esa información no siempre resulta mayor.

Con los datos obtenidos, el ingeniero puede formarse una idea del carácter del oleaje, conociendo la dirección y altura media en cada época del año.

1.2.1. Oleaje por viento.

Al soplar el viento sobre la superficie del mar tanto por las fluctuaciones de presión, como por la acción del esfuerzo cortante entre los dos fluidos, una parte considerable de la energía del viento se transfiere al mar, dando lugar a la formación de las olas. El lugar donde ocurre esta transferencia, se llama zona de generación de oleaje (SEA) y en ella, las olas producidas son totalmente irregulares, de manera que solo un tratamiento estadístico permite conocer sus características. Después el oleaje engendrado puede viajar grandes distancias, a lo largo de las cuales disminuye la altura media de las olas y se incrementa su período, el tramo donde esto ocurre, se llama zona de propagación (SWELL). Finalmente, al llegar a la zona de aguas poco profundas, en la cercanía de la costa, las olas sufren alteraciones importantes que ocasionan fenómenos que determinan el comportamiento de las estructuras marinas situadas en ellas.

Deben distinguirse dos tipos de olas de viento, el primero está formado por las olas "ordinarias", que son más o menos persistentes y que ocurren a lo largo del año, cambiando su altura y dirección, y el segundo tipo está constituido por las olas extraordinarias, generalmente producidas por los ciclones. Este último tipo de oleaje es el que más importa al ingeniero debido a que su energía es muy superior a las ordinarias.

El régimen normal del oleaje queda definido básicamente por:

1. Incidencia mensual, estacional y anual, en tiempo y porcentaje.
2. Distribución de alturas y períodos de oleaje, mensual, estacionario y anual.

Dentro de las fuentes de información estadística del oleaje se tienen las **CARTAS DE OLEAJE LOCAL Y DISTANTE ("SEA AND SWELL CHARTS")** y las **ESTADÍSTICAS DE OLEAJE OCEÁNICO ("OCEAN WAVE STATISTICS")**, en la primera se presentan datos para zonas mucho más reducidas que la segunda fuente pero, el OCEAN WAVE STATISTICS ofrece dentro de su información, los períodos de oleaje y no así el SEA AND SWELL CHARTS.

ESTADÍSTICAS DE OLEAJE OCEÁNICO ("OCEAN WAVE STATISTICS")

Esta fuente de información fue editada en 1967 por el Laboratorio Nacional de Física, Ministerio de Tecnología de la Gran Bretaña y contiene los datos estadísticos del oleaje, estimados usualmente por barcos voluntarios que navegaron en las rutas establecidas en todo el mundo, durante los años de 1953 a 1961.

Los datos reportados por los observadores son: dirección, período y altura de las olas. De acuerdo con la captación de datos que realizaron, la información se presenta agrupada en diferentes zonas, tal como se muestra en la figura 1.4.

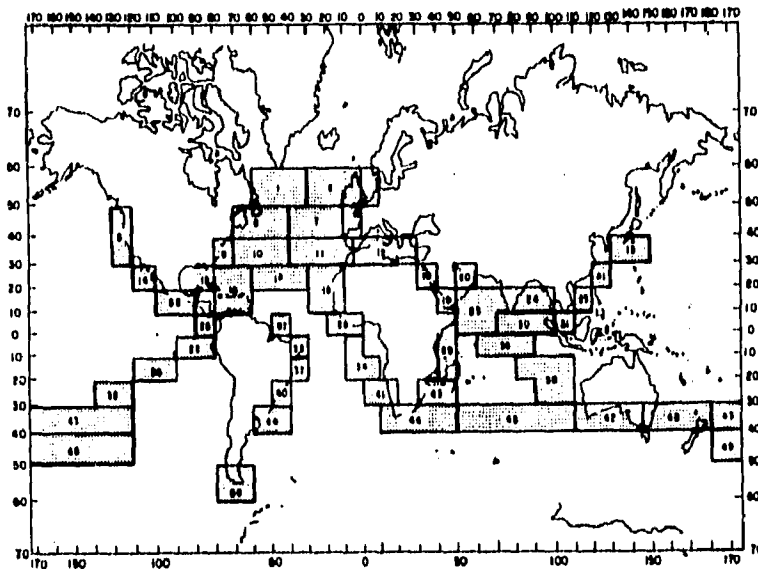


fig. 1.4 Zonificación Estadísticas de Oleaje Oceánico ("Ocean Wave Statistics")

La forma de presentación de los datos de cada zona se muestra de la figura 1.4 se muestran en la figura 1.5

El manejo de esta información de cartas presenta dos problemas: la elección de alturas, períodos representativos y la claridad de la información.

CARTAS DE OLEAJE LOCAL Y DISTANTE ("SEA AND SWELL CHARTS")

Los datos de esta información son observaciones visuales del estado del mar, realizadas desde embarcaciones, durante un período de 10 años. Para su presentación el oleaje se agrupa en dos tipos, dando la siguiente definición para cada uno de ellos:

Oleaje Local (sea)

Generado por vientos locales y que presentan olas de periodos cortos, superficie irregular rápidamente cambiante. Desplazándose en la misma dirección que el viento generado.

Oleaje Distante (swell)

Olas que han avanzado más allá de la influencia de los vientos generadores. Son más largas en período, de crestas redondeadas, más uniformes, de mayor altura y su dirección es independiente a la dirección del viento.

Los datos del oleaje se presentan, agrupando las observaciones realizadas en un área o zona determinada. Para el caso de la República Mexicana corresponden 16 zonas, fig. 1.6.

Cada rosa de oleaje es una representación gráfica de la frecuencia mensual resultante de la acumulación de datos, durante el período de observación fig. 1.7.

Tanto el oleaje local como el distante, se dividen en 3 rangos de altura de ola:

TIPO DE OLEAJE	RANGO DE ALTURA (m)		
	BAJO	MEDIO	ALTO
LOCAL	0.30-0.90	0.90-2.40	mayor a 2.40
DISTANTE	0.30-1.82	1.82-3.65	mayor a 3.65

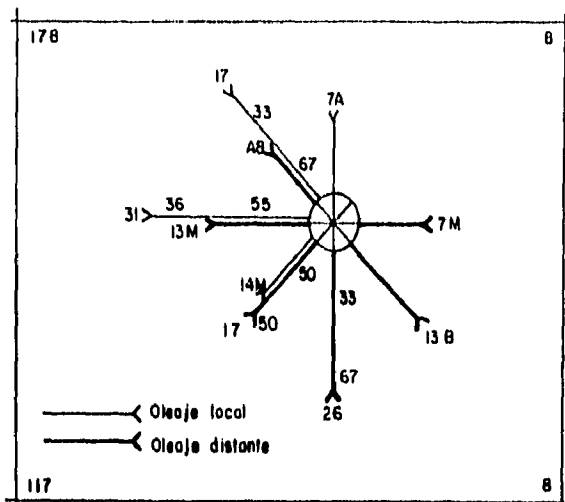


fig. 1.7 Representación gráfica del Oleaje Local y Distante ("SEA and SWELL")

1.2.2. Oleaje ciclónico

Para determinar los oleajes producidos por los ciclones, se requiere de uno de los dos tipos de información siguiente:

1. Cartas meteorológicas que muestren las isobaras y posibles frentes que fueron ocurriendo, para un ciclón determinado, e intervalos máximos de 6 hrs.
2. Datos estadísticos de los ciclones ocurridos en la zona de estudio.

En ambos casos, la información debe complementarse, preguntando a las autoridades de cada lugar en estudio, cuales son las direcciones estimadas de los oleajes extraordinarios que se han presentado.

Los métodos de predicción del oleaje, se pueden clasificar en:

- Fórmulas empíricas. Relacionan directamente la altura y período del oleaje con la velocidad del viento y/o la longitud del Fetch, estos métodos son poco confiables.
- Ola significativa: Relaciona la altura de la ola significativa ($H_{1/3}$) y el período significativo ($T_{1/3}$) con la velocidad y duración del viento, y la longitud del Fetch. Un ejemplo de estos

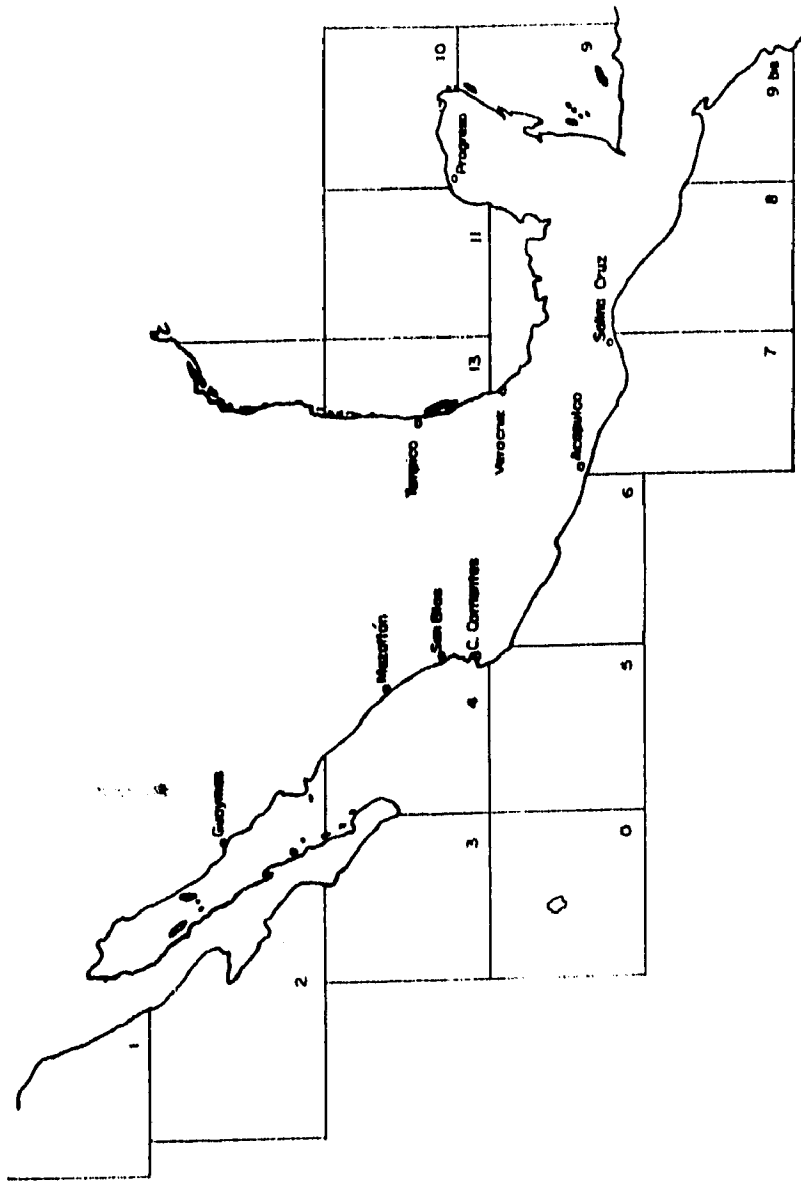


fig. 1.6 Zonas de información del Oleaje Local y Distante ("SEA and SWELL") para la República Mexicana

métodos es el del Huracán estándar y el propuesto por Sverdrup-Munk-Bretschneider que se aplica a la condición de aguas profundas y es el más utilizado en problemas de ingeniería.

- El método del espectro de energía, predice las características del oleaje utilizando la teoría del espectro.

Método del huracán estándar

Las ecuaciones fundamentales de este método son:

$$T_{1/3} = 8.6 e^{(R \Delta p / 12541)} \left(1 + \frac{0.076 \kappa V_f}{\sqrt{U_R}}\right)$$

$$H_{1/3} = 5.033 e^{(R \Delta p / 6270)} \left(1 + \frac{0.153 V_f}{\sqrt{U_R}}\right)$$

R, radio del máximo viento (km.)

$$R = 1.853 \text{ antilog}(0.0056 P_o - 3.45)$$

Δp = diferencia de presiones (mb)

$$\Delta p = P_n - P_o$$

P_n , presión normal igual a 1.013 mb

P_o , presión central del huracán o ciclón mb.

V_f , velocidad de avance del huracán o ciclón, es decir con la cual se desplaza la perturbación entera (Km/hr).

U_R , velocidad máxima sostenida del viento, dentro de la perturbación entera (km/h); debe ser la calculada a 30 pies por encima de la superficie libre del mar a una distancia R.

$$U_R = 0.865 U_{\text{máx}} + 0.5 V_f$$

$U_{\text{máx}}$, velocidad máxima del viento por gradiente (k/hr)

κ , coeficiente que para huracanes en movimiento lento, es igual a 1.0

y por lo que se refiere al fetch

$$Fe = 22.168 (Hs/UR)$$

Para trasladar el oleaje producido por la perturbación desde la salida de ella, hasta el límite de aguas profundas ($LAP = Lo / 2$) frente al sitio estudiado, se puede utilizar el análisis de decaimiento (SMB).

Método de Sverdrup-Munk-Bretshneider (SMB)

Este método fue desarrollado por Sverdrup-Munk y su fundamento está en la ecuación de la energía. Los datos originales de calibración, fueron medidos en el mar y Bretshneider los complementó con datos obtenidos en canales de oleaje, pequeños lagos, mediciones y observaciones visuales del mar.

Esta teoría que sirve para predecir el oleaje en aguas profundas y suponen que el viento sopla con velocidad constante. Los autores consideran que los principales parámetros para la generación de olas en esta zona son: Velocidad del viento Formativo (U) y su duración (t), fetch (F), y aceleración de la gravedad (g). Con este método se obtiene una altura de $H_{1/3}$ y período $T_{1/3}$, llamados significantes que representan al oleaje real. Esas características son las únicas que se toman en cuenta, ya que en aguas profundas, la longitud y la celeridad de la onda, depende del período ($Lo = 1.56 T^2$ y $Co = 1.56 T$).

A continuación se da el orden para definir las variables y calcularlas y para encontrar las características del oleaje generado en la salida de la perturbación, así como para trasladarlos mediante la distancia de decaimiento, hasta el límite de aguas profundas frente al sitio de estudio:

- a) Fecha de la carta sinóptica
- b) Hora de la carta sinóptica
- c) Distancia media entre isobaras, expresada en grados latitud: se deduce ésta, en la zona comprendida por el Fetch, en forma normal a las propias isobaras.
- d) Longitud en grados del centro de la perturbación.
- e) Velocidad del viento geostrófico.
- f) Velocidad del viento real.

- g) Longitud del fetch en millas náuticas, medido directamente de la delimitación realizada sobre la(s) carta(s) sinóptica(s) de tiempo; será la mayor distancia que cruce la zona de generación en relación al sitio de estudio.
- h) Distancia de decaimiento D en millas náuticas.
- i) Duración en horas, tiempo en el cual se considera actuando el viento, en la zona de generación; dado que normalmente la duración, se considera de la misma magnitud.
- j) T_f y H_f , período en segundos y altura de la ola en pies generados por la perturbación y considerado a la salida del fetch.
- k) T_D y H_D ; período en segundos y altura de ola en pies del oleaje, una vez recorrida la distancia de decaimiento (se utilizan la fig. 1.8 para su cálculo).

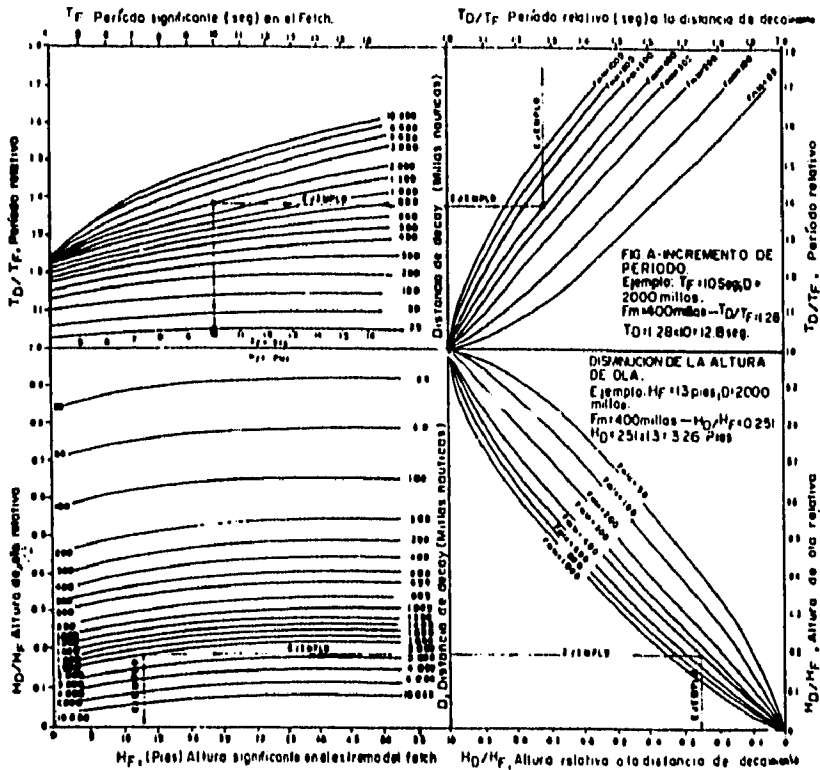


fig. 1.8 Curvas de decaimiento, protección playera ("Shore Protection")

1.2.3 Oleaje rompiente

Una onda progresiva en su recorrido hacia la costa, al llegar a una profundidad $d < 0.5 L$, empieza a ser modificada por la presencia del fondo y pasa de ser una onda en aguas profundas a una en aguas intermedias; posteriormente al alcanzar una profundidad $d < 0.05 L$ llega a ser una onda en aguas someras. En su recorrido, la onda puede hacerse inestable y romper, dependiendo de sus características iniciales en aguas profundas y de la rapidez del cambio que sufre, el que depende de la pendiente y profundidad del fondo en la dirección de avance de la onda.

La rompiente de la onda, se ha clasificado en tres tipos diferentes de oleaje:

La rompiente continua (spilling), se caracteriza por romper muy suavemente, y porque en un amplio recorrido, la onda deja tras ella la superficie llena de espuma.

La rompiente rodante (plunging), se distingue por tener una zona de rompiente perfectamente definida, que es donde el agua de la cresta se adelanta a la onda y cae frente a ella, produciendo mucha espuma y turbulencia y disipando gran cantidad de energía en espacios relativamente cortos.

La rompiente ondulante (surging) es la que ocurre casi en la línea de la playa. La onda se aproxima hasta la línea de costa, en donde se rompe y disipa su energía en forma de un frente con espuma, que sube sobre la playa.

En función de la esbeltez de la ola en aguas profundas y de la pendiente del fondo, se puede estimar el tipo de rompiente que puede presentarse.

Altura de la ola en rompiente

En el diseño de las estructuras, como rompeolas, escolleras, muros, etc., es necesario conocer si estarán sujetas a la acción de olas rompiendo, o lejos de esta situación, como se describe a continuación.

La distancia vertical entre la altura de la cresta de la ola en la rompiente y el valle inmediato delante de ella es lo que se conoce como altura en rompiente. Fig. 1.9.

El oleaje rompiente en aguas profundas. Si la esbeltez de la onda aumenta, llega un momento en que es inestable y empieza a romper con formación de espuma en su cresta.

La esbeltez máxima posible es igual a:

$$H_o/L_o = 0.142$$

$$\text{por tanto } H_o \text{ máxima} = 0.142 L_o$$

Oleaje rompiente por efecto del fondo (en aguas someras). En este caso la ola rompería por efecto de la profundidad del fondo: las expresiones que dan las condiciones de rompiente son:

$$H_b/H'_o = 1/(H_o/L_o)^{1/3} * 3.3$$

Donde H_b/H'_o , índice de altura rompiente.

$$d_b/H_b = 1.28$$

d_b , profundidad de rompiente

H_b , altura de ola de rompiente.

Esta última expresión, la más usual, significa que una ola con altura determinada, tenderá a romper cuando la profundidad del fondo donde se desplaza, alcance un valor de 1.28 veces su altura.

Profundidad en la rompiente

Para calcular la profundidad de las olas que llegan a romper, se pueden utilizar las curvas que fueron propuestas por Goda fig. 1.10 y en las que se relacionan

$$d_r/H'_o = f(H'_o/L_o, s) \text{ siendo } d_r, \text{ profundidad en la rompiente.}$$

Conocido el valor de d_r se deberá comparar con la profundidad d a la cual está desplantada la estructura. Si d es mayor a d_r , la estructura estará sujeta a oleaje no rompiente.

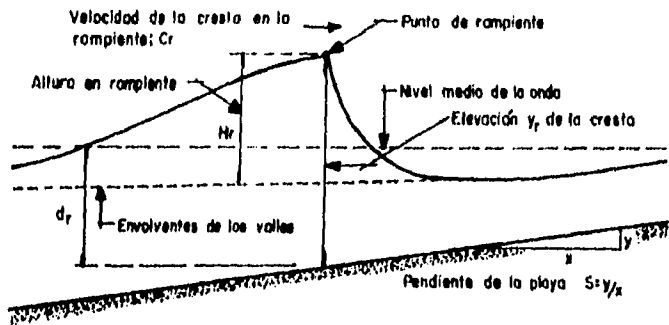


fig. 1.9 Términos para definir a la ola rompiente

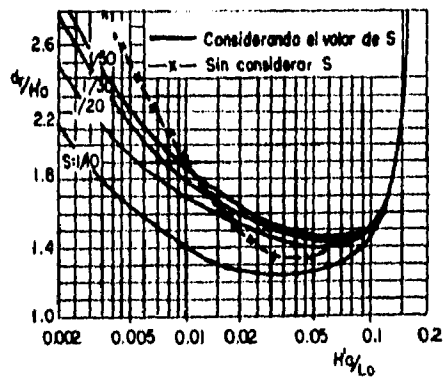


fig. 1.10 Profundidad en la rompiente, según Goda (1970)

1.2.4. Oleaje de diseño

Se puede decir que la elección de la ola de diseño Hd, debe ser cuestión directa del proyectista, el cual deberá tomar en cuenta todos los factores físicos y económicos implicados, para sustentar su elección, siendo recomendable el introducir los efectos del periodo del oleaje y, si se justifica, el ensayo en modelo de la obra.

Periodo de retorno y probabilidad de encuentro.

Es el intervalo promedio de años en que ocurre una fuerza exterior mayor que la supuesta. Por ejemplo, cuando ocurre una altura de oleaje mayor de 10 mts una vez cada 10 años como promedio, se dice que su periodo de retorno es de 10 años.

Cuando la profundidad de desplante de las instalaciones es poca, entonces las alturas de oleaje que tienen periodo de retorno diferentes son casi iguales.

Por eso el valor de esta altura límite, será el oleaje de diseño. O sea, cuando la fuerza exterior tiene un límite y el periodo de retorno es corto, el oleaje de diseño se debe decidir por el valor límite.

Periodo de probabilidad de encuentro.

Por lo regular antes, el oleaje de diseño se decidía por el periodo de retorno. Sin embargo, en estos últimos años, las instalaciones se desplantan en lugares cada vez mas profundos de vez en cuando, por lo que no se puede utilizar el concepto de economía y se hace necesario el concepto de probabilidad.

La probabilidad da un encuentro de un punto de referencia para decidir un periodo de retorno.

Se da la probabilidad de encuentro en la fórmula siguiente:

$$E = 1 - (1/(T1))L1$$

E1 = Probabilidad de encuentro.

L1 = Vida útil de las instalaciones.

T1 = Periodo de retorno.

El resultado de cálculo se presenta en la tabla siguiente:

LIT	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500
1	0.290	0.100	0.067	0.050	0.043	0.033	0.025	0.020	0.017	0.013	0.010	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
2	0.360	0.190	0.129	0.098	0.078	0.066	0.049	0.040	0.033	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010	0.008	0.007	0.005	0.004
3	0.488	0.371	0.187	0.143	0.115	0.097	0.073	0.059	0.049	0.037	0.030	0.025	0.019	0.015	0.012	0.010	0.007	0.006
4	0.590	0.344	0.241	0.185	0.151	0.127	0.095	0.078	0.065	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020	0.016	0.013	0.010	0.008
5	0.672	0.410	0.292	0.226	0.185	0.156	0.119	0.096	0.081	0.061	0.049	0.041	0.031	0.025	0.020	0.017	0.012	0.010
6	0.738	0.469	0.319	0.265	0.217	0.184	0.141	0.114	0.096	0.073	0.059	0.049	0.037	0.030	0.024	0.020	0.015	0.012
7	0.790	0.522	0.383	0.302	0.245	0.211	0.162	0.132	0.111	0.084	0.068	0.057	0.043	0.034	0.028	0.023	0.017	0.014
8	0.832	0.570	0.424	0.337	0.279	0.238	0.183	0.149	0.126	0.096	0.077	0.065	0.049	0.039	0.032	0.026	0.020	0.018
9	0.866	0.613	0.463	0.370	0.307	0.253	0.204	0.166	0.140	0.107	0.086	0.073	0.055	0.044	0.035	0.030	0.022	0.018
10	0.893	0.651	0.496	0.401	0.335	0.286	0.224	0.183	0.155	0.118	0.096	0.080	0.061	0.049	0.039	0.033	0.025	0.020
12	0.931	0.718	0.563	0.460	0.387	0.334	0.262	0.215	0.183	0.140	0.114	0.095	0.072	0.058	0.047	0.039	0.030	0.024
14	0.956	0.771	0.619	0.512	0.435	0.378	0.298	0.246	0.210	0.161	0.131	0.111	0.084	0.068	0.055	0.046	0.034	0.028
16	0.972	0.815	0.668	0.560	0.480	0.419	0.333	0.276	0.236	0.182	0.149	0.128	0.095	0.077	0.062	0.052	0.039	0.032
18	0.982	0.850	0.711	0.603	0.520	0.457	0.366	0.305	0.261	0.203	0.165	0.140	0.107	0.088	0.070	0.058	0.044	0.035
20	0.988	0.878	0.748	0.642	0.558	0.492	0.397	0.332	0.285	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095	0.077	0.065	0.049	0.039
25	0.996	0.926	0.822	0.723	0.640	0.572	0.469	0.397	0.343	0.270	0.222	0.189	0.145	0.118	0.094	0.080	0.061	0.049
30	0.999	0.958	0.874	0.785	0.706	0.638	0.532	0.455	0.396	0.314	0.260	0.222	0.171	0.140	0.113	0.095	0.072	0.058
35	1.000	0.975	0.911	0.834	0.760	0.695	0.586	0.507	0.445	0.356	0.297	0.254	0.197	0.161	0.131	0.110	0.084	0.066
40	1.000	0.985	0.937	0.871	0.805	0.743	0.637	0.554	0.489	0.395	0.331	0.284	0.222	0.182	0.148	0.125	0.095	0.077
45	1.000	0.991	0.955	0.901	0.841	0.783	0.680	0.597	0.531	0.432	0.364	0.314	0.246	0.202	0.165	0.140	0.107	0.086
50	1.000	0.995	0.968	0.923	0.870	0.816	0.718	0.636	0.568	0.467	0.395	0.342	0.269	0.222	0.182	0.154	0.118	0.095

BORGMAN, L. E., "Risk Criteria", Proc. of ASCE, Vol. 89, No. WW1, (1963).

Probabilidad de un encuentro de un punto de referencia para decidir un periodo de retorno

Para explicar el significado de la probabilidad de encuentro tenemos el siguiente ejemplo: Una instalación que tiene vida útil de 30 años y se diseña para un oleaje que tiene un periodo de retorno de 30 años es de 0.638, como se ve en la tabla anterior. Esto quiere decir que la probabilidad de encuentro, es mayor que la probabilidad de no encuentro. Para determinar la probabilidad de encuentro, se tiene que elegir el oleaje de periodo de retorno más largo.

El valor de probabilidad de encuentro se debe decidir, considerando factores como la importancia de la instalación, la economía, etc.

Oleaje de diseño en aguas profundas.

El oleaje en aguas profundas que se usará como oleaje de diseño, se determinará por cualquiera de los siguientes métodos:

- Datos de oleaje observado por periodos largos de tiempo.
- Oleaje estimado con datos meteorológicos.
- Oleaje estimado con huracanes hipotéticos.
- Para determinar de los métodos usados, es necesario tomar en cuenta:

- En el oleaje observado mínimo, un periodo largo de 10 años o se usará el oleaje estimado por datos meteorológicos por más de 30 años
- Cuando se cuentan con datos de oleaje extraordinario, y si el valor es mayor que el estimado, se podrá usar como el oleaje de diseño.

Para determinar el oleaje de diseño, se deberá escoger el más desfavorable para la estructura, basándose en el oleaje de diseño en aguas profundas considerando la deformación del oleaje como difracción, refracción y efecto de fondo.

1.3 Mareas.

Se define como el movimiento alternativo y diario de las aguas del mar, lago o estero, que cubren y abandonan sucesivamente la orilla, producido por las acciones del Sol y de la Luna.

Cuando la Luna se encuentra encima de las aguas, las atrae y las obliga a subir hasta cierta altura, produciendo así la marea ascendente o flujo. Después del paso de la Luna vuelen las aguas a bajar y forman lo que se llama marea descendente o reflujo. Se ha observado que las mareas son más fuertes cuando la Luna está más cerca de la Tierra, así como las épocas de la Luna llena, es decir cuando el Sol y Luna están en conjunción o en oposición, pues en tal caso, se hace sentir simultáneamente su atracción. Cuando llegan las aguas a su mayor altura, permanecen paradas durante algún tiempo: es el momento de pleamar; llegadas a su depresión más baja, quedan igualmente inmóviles durante algún tiempo: es la bajamar.

Es importante tener el conocimiento de las mareas por:

- Reclamación de áreas costeras
- Cierre o apertura de bocas de ríos
- Problemas de seguridad de estructuras
- Problemas de intrusión salina
- Generación de energía
- Transporte de sedimentos.

La figura 1.11 muestra la definición de marea.

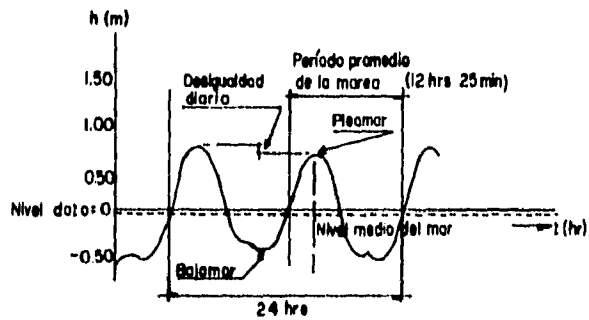


fig. 1.11 Onda de marea

1.3.1 Mareas astronómicas

Como fue explicado por Newton, las mareas están relacionadas con las atracciones de la Luna, Sol y Tierra. Los movimientos del sistema solar son (fig. 1.12):

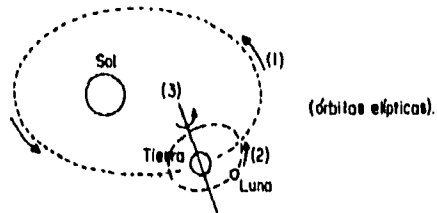


fig. 1.12 Movimiento de los astros

- 1.- Tierra alrededor del Sol (365 días)
- 2.- Luna alrededor de la Tierra (27.3)
- 3.- Tierra alrededor de su propio eje

Las situaciones reales de las mareas se muestran en la fig. 1.13

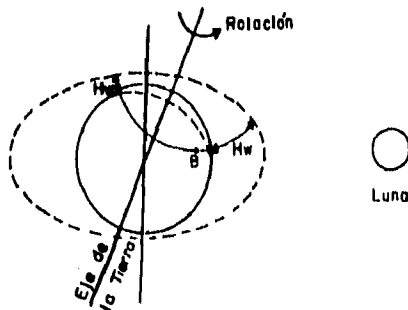


fig. 1.13 Atracción y movimiento de rotación terrestre

El conocimiento del efecto de la marea, en lagunas, esteros y costas, permite conocer en qué grado esos lugares se benefician marítimamente. Por otra parte, la amplitud de la marea y la determinación de los diferentes planos de mareas, entre ellos, por ejemplo, el nivel medio del

mar, son información indispensable en el proyecto de estructuras, puertos, centrales térmicas y canales de comunicación.

Uno de los movimientos familiares periódicos observados en las playas, son el diario ascenso (pleamar) y descenso (bajamar) del agua. Cuando ocurre dos veces al día, se denomina marea semidiurna, y cuando sólo es una vez al día marea diurna; también puede ocurrir una combinación de éstas, que se caracteriza por tener dos pleamares o dos bajamares notablemente diferentes y se denomina marea mixta. Este movimiento de ascenso y descenso de la superficie del mar con un período de 12 horas 25 minutos o 24.82 horas, se llama marea astronómica (como se muestra en la fig. 1.14).

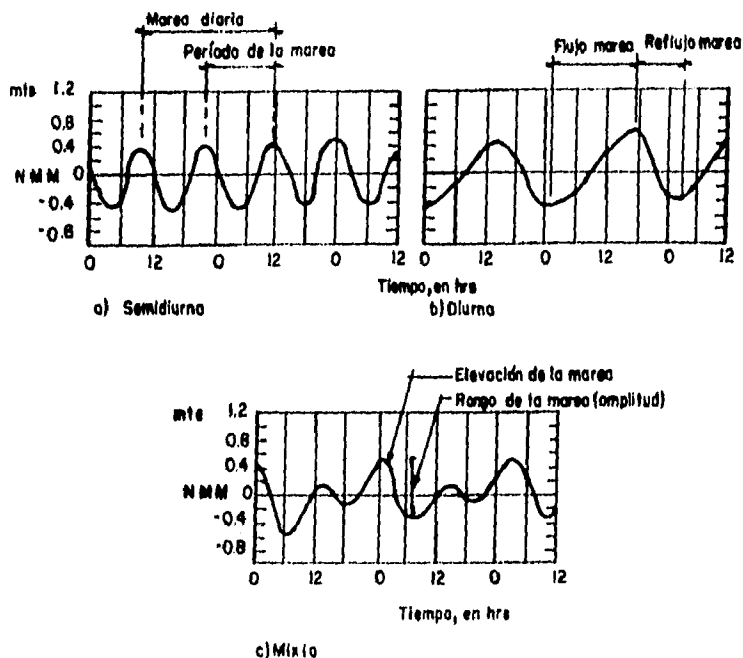


fig. 1.14 Diferentes tipos de mareas

1.3.2 Marea de viento

La determinación del ascenso de la superficie del mar, causado por una marea de viento, requiere de la solución del sistema de ecuaciones diferenciales. Esta solución, que debe hacerse con un procedimiento de integración numérica "hacia adelante", implica la determinación de las

velocidades del viento en cada instante, lo cual puede hacerse a partir de los datos meteorológicos para un ciclón dado, mediante Cartas Meteorológicas que muestran isobaras y datos estadísticos de los ciclones, ocurridos en la zona de estudio.

La principal dificultad reside, sin embargo, en la determinación de las condiciones de frontera. Por este motivo, se han ideado procedimientos simplificados para calcular el ascenso producido por la marea de viento; estos métodos se describen a continuación:

El cálculo del ascenso producido por la masa de viento cuando se dispone de información estadística sobre los ciclones, en una región determinada

Se empezará por evaluar el índice de presión, P_0 , del sitio, por medio de la fórmula:

$$P_0 = 1028.14 - 1.695 \phi.$$

donde: P_0 = Índice de presión media

ϕ = Latitud en grados.

y en seguida, se calculará la depresión causada en MILIBARES

$$\Delta p = (1013.25 - P_0)$$

después, se calculará el radio máximo mediante la fórmula:

$$R = 0.0006574 e^{0.01155P_0}$$

Este radio, se expresa en millas náuticas, dividiendo el resultado de dicha fórmula entre 1.852.

Con Δp y R así encontrados, se usará la fig. 3.51 del Protección Costera "shore protection" edición 1984 (pp 3.119) para encontrar el índice de ascenso SI (en pies).

En seguida se calculará la velocidad del viento con la fórmula

$$U = 7.26 (H_{1/3})^{0.4}$$

lo que supone el cálculo previo de $H_{1/3}$. La velocidad debe expresarse en millas por hora.

Después, se determinará el ángulo ϕ que forma la dirección del oleaje con la playa y con los valores de U y de V de la fig. 3.54 del "shore protection" se encontrará el factor FM.

El ascenso producido por la marea de viento Sp (pies) se encontrará haciendo

$$Sp = S1 (FM)$$

para las playas muy tendidas este valor puede aumentar hasta en un 20%.

1.3.3. Marea de tormenta.

Se define la marea de tormenta como el aumento (o disminución) del nivel del agua arriba (o abajo) del nivel esperado, debido a la acción del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.

La marea de tormenta suele ser muy importante en áreas costeras, sujetas a vientos ciclónicos o HURACANADOS, ya que puede causar aumento o disminución de los niveles del agua, debido a las mareas astronómicas, por lo que en el caso de algunos proyectos específicos, es de vital importancia tomar en cuenta su efecto. En el caso de mareas de tormentas positivas (aumento), el viento sopla en la dirección opuesta como se ve a continuación (fig. 1.15):

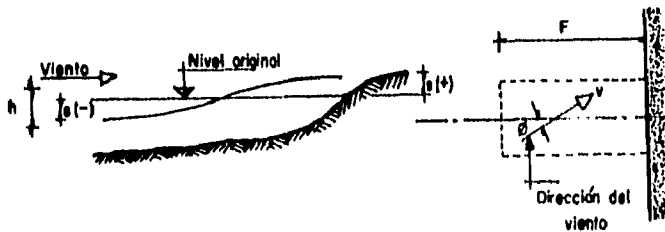


fig. 1.15 Marea de tormenta

Una de las formas más simples para calcular la marea de tormenta, para el caso de dársenas cerradas o mares limitados, lagunas y albúferas, es mediante el empleo de la siguiente expresión, debida a Bretschneider:

$$S = (CV^2 F \cos \phi) / h$$

donde:

S = marea de tormenta o sobreelevación.

C = coeficiente cuyo valor se puede tomar de $0.4 \cdot 10^{-6}$ seg/m

V = velocidad del viento a 6 m sobre el nivel del mar (m/seg)

F = fetch o longitud de área de mar, sobre la cual el viento está soplando (m).

ϕ = ángulo entre la dirección del viento y la línea centro o eje del área considerada (ver figura 1.15).

h = profundidad promedio del área considerada, medida normalmente a lo largo del eje del Fetch (m).

El efecto de la marea resultante (astronómica y de tormenta), puede ser obtenida por la superposición lineal de los niveles de cada una de ellas.

Los cálculos de S pueden en muchos casos, ser difíciles de precisar, ya que se carece de datos, pero cuando se dispone de registros de niveles de agua, es posible determinar éstos. Los efectos de la marea de tormenta en esa área, se determinan mediante, la resta de los niveles generados para la marea astronómica.

1.4. Corrientes.

El conocimiento de las corrientes y del transporte litoral (que se verá más adelante), es importante en la solución de problemas tales como:

En el diseño de espigones, escolleras y rompeolas, ya que permite valorar su vida útil, estructura retenedora y sedimentos, antes de que el material empiece a pasar frente a ellas, en cantidades similares o cercanas al transporte litoral, playa arriba.

El movimiento de rotación de la Tierra y las diferencias de temperatura y salinidad, dan lugar al movimiento de grandes masas del mar que se llaman corrientes oceánicas. Además, las mareas también ocasionan corrientes de masas de agua considerables que, evidentemente, se designan como corrientes de marea.

Por otra parte, el oleaje crea, en la zona de aguas poco profundas, un complejo conjunto de corrientes que se designa como sistema de corrientes, próximo a la playa o corrientes en la playa cercana ("Near Shore Currents").

Como se indica en la fig. 1.16, este sistema está constituido principalmente por dos tipos de corrientes. Una de ellas, aproximadamente paralela a la playa y dirigida en el sentido del oleaje, que se llama corriente litoral.

La otra, hacia mar afuera y más o menos normal a la playa que se llama corriente de resaca ("rip current"). Esta última, avanza hasta una zona de mar adentro en donde se dispersa y vuelve hacia la playa, arrastrada por las olas.

De esta manera, se produce una circulación como la representada por las flechas en dicha figura. Es interesante observar que aún cuando la corriente litoral tiene pequeñas componentes en sentido contrario, presenta una clara tendencia principal. Por lo demás, si aumenta la inclinación del oleaje y la altura de la ola, las corrientes de resaca tienden a desaparecer, aunque persiste aproximadamente el mismo sistema general de circulación. Para oleajes moderados, que inciden normalmente a la playa, la corriente litoral fluye simétricamente hacia las dos corrientes de resaca contiguas y la tendencia principal desaparece.

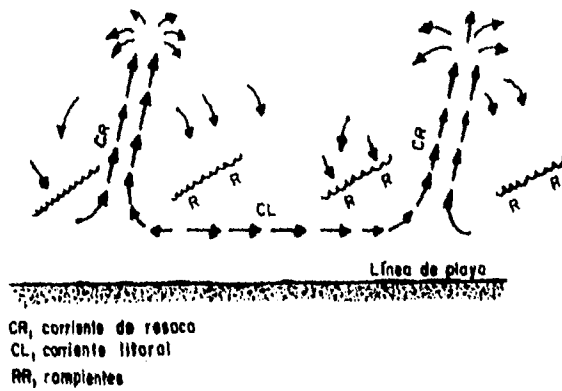


fig. 1.16 Corrientes

Para conocer la velocidad litoral media, V_L , entre la rompiente y la línea de costa, se recomienda la ecuación propuesta por Koman E Inman, que establece:

$$V_L = 1.35 g^{1/2} Hr (\sin \alpha_r) (\cos \alpha_r) / dr^{1/2}$$

Hr = altura de la ola en rompiente, en m

α_r = ángulo de incidencia entre el frente de la onda y la línea rompiente.

dr = profundidad en la rompiente, en m

V_L = velocidad media de la corriente litoral, en m/s.

Para calcular la velocidad media de la corriente litoral en la zona de rompiente, V_r , se recomienda la expresión de Loguet-Higgings;

$$V_r = 9 S (g Hr)^{1/2} (\sin \alpha_r)$$

Donde: S = pendiente de la playa.

La velocidad máxima de la corriente litoral, se alcanza entre la rompiente y la línea de costa y se indica como V_1 . De acuerdo con Loguet-Higgings dicha velocidad es aproximadamente 2 o 3

veces mayor que la velocidad en rampiente, por lo que también puede utilizarse la siguiente expresión para evaluar V_1

$$V_1 = (20.3) S (g Hr)^{1/2} (\text{sen } 2\alpha_r)$$

Para esta ecuación y la de Loguet Higgins, se puede emplear con cualquier sistema congruente de unidades.

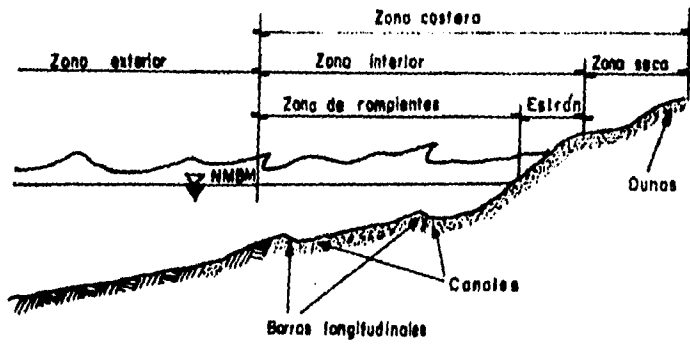


fig. 1.17 Perfil playero

1.5. Arrastre litoral.

La costa puede ser definida como la frontera entre el mar y la tierra. cuando esa frontera está formada por material suelto no consolidado recibe el nombre de playa: dicho material es pétreo y generalmente es arena, grava o boleó.

Los procesos costeros son resultado de la interacción entre el sedimento y el oleaje principalmente, aunque hay que añadir las corrientes, mareas, vientos y batimetría:

El estudio de transporte de sedimentos es importante para diferentes aspectos:

- En ingeniería de costas, sirve para predecir el acarreo litoral, diseño de protecciones costeras y puertos.
- En el dragado, es importante en problemas de succión, transporte y depósito del material obtenido.

Para comprender el arrastre litoral, es necesario conocer los elementos componentes de una playa (fig. 1.17):

- a) La zona exterior, considerada a partir de la primera línea de rompimiento de la ola hacia el mar.
- b) La zona interior, dividida en dos regiones:
 - 1) Zona de rompientes, que es el área definida por la línea de rompiente y la intersección de los planos del nivel de bajamar media inferior (NBMI). con el de la costa.; por efecto de la rotura de la ola, se forman barras longitudinales y a su pie. bermas o depresiones, que sirven de canales a las corrientes que se generan a la largo de la playa .
 - 2) El estrán, definido por la traza del nivel de bajas mareas y la línea de la costa. con la traza que define la línea de alcance máximo de la ola.

Al estrán le sigue la llamada berma playera, formada por el material que aportan las olas al romper, el cual se acusa más con la disminución de la agitación y la zona seca, o sea los montículos cercanos a la playa, la mayor o menor agitación del mar, la dirección de los vientos, su intensidad y frecuencia.

En un corte transversal como el de la fig. 1.17 los materiales componentes de la playa, tendrán un tamaño mayor en el estrán y su diámetro disminuirá con la profundidad. Esto sin considerar que la pendiente de la playa, está íntimamente relacionada con el tamaño de sus componentes.

El transporte litoral se efectúa principalmente siguiendo dos procesos:

1.- Por el efecto de la ola al precipitarse sobre la parte alta de la playa; la ola ascendente transporta sedimentos en dirección de la ola y desciende por la línea de mayor pendiente, produciendo un transporte de diente de sierra (fig. 1.18.a)

2.- Debido al rompimiento de la ola y la corriente longitudinal; el sedimento en esa zona (rompiente), sigue un camino análogo al que se tiene en lo alto de la playa y la corriente longitudinal acarrea los sedimentos, como si fuera una corriente permanente, llamándose corriente en la rompiente (fig. 1.18 b).

La cantidad de transporte de sedimentos, expresada como masa, peso o volumen por unidad de tiempo, puede ser determinada por medio de las mediciones en campo o por métodos analíticos; ambas arrojan un bajo grado de precisión, por lo que posibles variaciones calculadas en las cantidades de transporte, tendrán que ser consideradas para fines de diseño.

A) Medición directa o en campo:

Espigones de prueba.

Cuya longitud debe ser tal que rebase la línea de rompientes, para provocar el acumulamiento de material en uno de sus lados, y apareciendo en el otro lado, las dunas formadas por el viento, al soplar sobre la zona de azolve. El efecto que se produce en el lado contrario del espigón, es la erosión de la playa, al ser interrumpido el flujo alimentador, como se ilustra en la fig. 1.19:

Los espigones de prueba se construyen con el objeto de retener el transporte de sedimentos y así poderlo medir físicamente, mediante seccionamientos playeros.

En la práctica, se obtiene un volumen de material erosionado (V_e), mayor que el acumulado (V_a), esto se debe a que en la zona de azolve, puede haber pérdidas de material (V_p), producidas por el viento al soplar hacia tierra. Algebraicamente se tiene:

$$V_e = V_a + V_p$$

Trazadores.

Procedimiento de los isótopos radiactivos, es otra forma de cuantificar los volúmenes depositados. procedimiento que consiste en la radiactividad de partículas de material que tienen la misma granulometría y la misma densidad que el material playero y que mediante el uso de contadores Geiger, se está en la posibilidad de conocer la trayectoria de una partícula por la playa, así como la distribución de sus velocidades: con la cual, es posible además, calcular la velocidad media que permita conocer el gasto sólido del material, objeto del acarreo litoral.

Fosas de prueba.

La utilización de las fosas de prueba, es cuando se desea conocer el transporte en la zona exterior de la playa, estableciendo las dimensiones de la fosa de antemano para cuantificar los depósitos. La desventaja de este método, es que representa el transporte en forma cuantitativa, pero no muestra claramente su procedencia.

Otro procedimiento para los puertos en operación, con problemas de azolve, es el de cuantificar los volúmenes dragados que se realizan en la bocana y en los canales de navegación de acceso al puerto, para mantener las profundidades que requieren los barcos. Aún cuando este procedimiento no registra el volumen total, transportado a lo largo de la playa, sí es una buena medida que permite buscar soluciones complementarias para resolver el problema del acarreo litoral, como lo es en la construcción de un tómbolo, antes de la bocana del puerto, que impida el paso de arenas.

B) Métodos analíticos.

Para este fin, se utilizan métodos directos e indirectos. La cuantificación del transporte de sedimentos mediante fórmulas empíricas, a veces resulta poco confiable, ya que existe un gran número de ellas, desarrolladas por diferentes investigadores y bajo condiciones diferentes. Sin embargo, la mayoría de ellas, coinciden en el hecho de que la energía del oleaje, es la causa principal de este acarreo litoral.

El análisis teórico tiene como finalidad la evaluación del transporte litoral, en las direcciones paralelas a la línea de playa; para lograrlo, es necesario recurrir a los estudios oceanográficos, sedimentológicos y de refracción realizados en la zona y particularizados para el sitio de interés.

Cuantificación teórica determinista.

Este análisis se realiza con el objeto de tener varios puntos de apoyo, y poder discernir en base a éstos, si existen tendencias de evaluación teórica hacia un valor determinado del transporte litoral.

Criterio de CADWELL.

$$Q_s = 210 E_i^{0.8}$$

$$E_i = E_o L / L_o (N) (\sin \alpha \cos \alpha) K_r^2$$

$$E_o = (\gamma H_o^2 L_o) / (8 \cdot 10^6)$$

donde;

Q_s = Transporte de sólidos en Yd³/día

E_i = Energía incidente del oleaje, en millones de libras-pies.

E_o = Energía del oleaje en aguas profundas, en millones de libras-pies.

L_o = Longitud de onda del oleaje en aguas profundas en pies.

L = Longitud de onda del oleaje sobre la línea de rompiente, en pies.

N = Número de olas en un día (con las mismas características)

α = Angulo de incidencia del oleaje en grados

K_r = Coeficiente de refracción, adimensional.

γ = Peso específico del agua, en Yd/pie³

H_o = Altura de la ola en aguas profundas, en pies

Criterio de Cerc.

Análogamente a Cadwell, Cerc desarrolla su criterio basado en la energía del oleaje. sólo que él, se basa en las siguientes expresiones:

$$Q_s = 125 E_a$$

$$E_a = E_o/2 (N) (\sin \alpha \cos \alpha) K_r^2$$

En estas fórmulas, las unidades son exactamente las mismas que en el análisis anterior.

Criterio de Larrás.

A diferencia de los criterios anteriores, éste se encuentra dentro del sistema métrico decimal; puede considerarse que este método, es bastante completo y muy utilizado, ya que involucra entre sus consideraciones teóricas el fondo marino, el material playero y la aceleración de la gravedad.

El método se basa en las siguientes expresiones:

$$Q_s = K g H_o^2 K_r^2 T \sin (7/4 \alpha)$$

donde;

Q_s = transporte litoral en m

K = coeficiente que depende del tipo de playa y granulometría del material

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg

T = período del oleaje en segundos

H_o = altura de ola en aguas profundas, en metros

α = ángulo de incidencia del oleaje para esa dirección, en grados

para valorar K se utiliza la siguiente expresión:

$$K = 1.18 \cdot 10^{-6} D^{-1/2} L_o/H_o$$

donde;

D = diámetro medio del material de arrastre, en milímetros

L_o = longitud de onda del oleaje en aguas profundas

H_o = altura de la ola en aguas profundas

"Shore Protection Manual (1977)"

Según el manual, el volumen de material sólido arrastrado es igual a:

$$Q_s = 0.0188 E_x$$

$$E_x \text{ día} = 86400 E_x$$

$$E_x = (\gamma (H_r)^2 C_g) \cdot (\text{sen } 2\alpha_r) / 16$$

donde;

E_x = componente a lo largo de la costa, de la potencia de la ola (flujo de energía de la ola), en ton-m/s-m

H_r = altura de la ola significativa rompiente, en m

α_r = ángulo de incidencia del oleaje, referido a la línea rompiente

C_g = celeridad de grupo. Por tratarse de aguas bajas en la zona de rompiente, se puede considerar que C_g es igual a la celeridad de una onda individual, es decir $C_g = C$

γ = peso específico del agua de mar, en ton/m³.

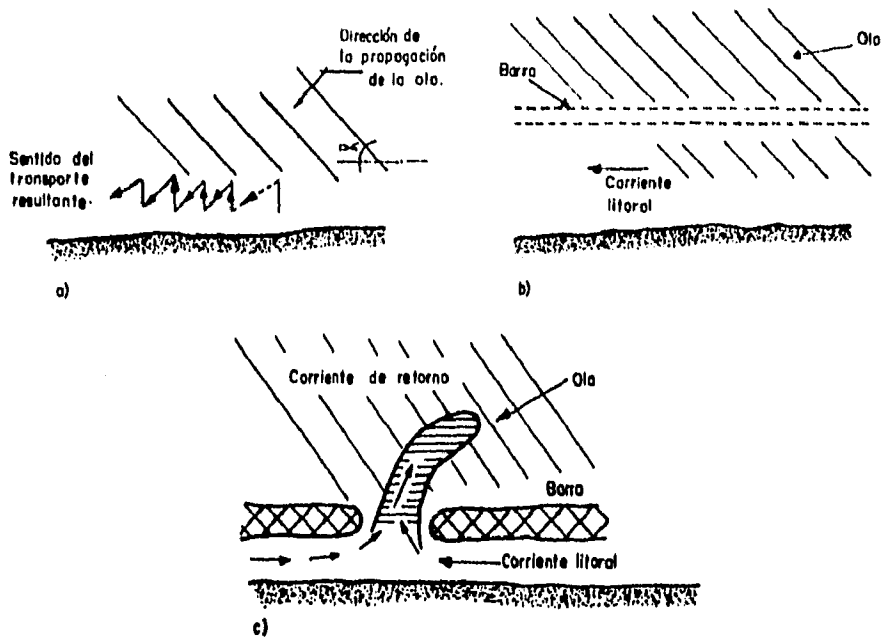


fig. 1.18 Corrientes inducidas por el oleaje

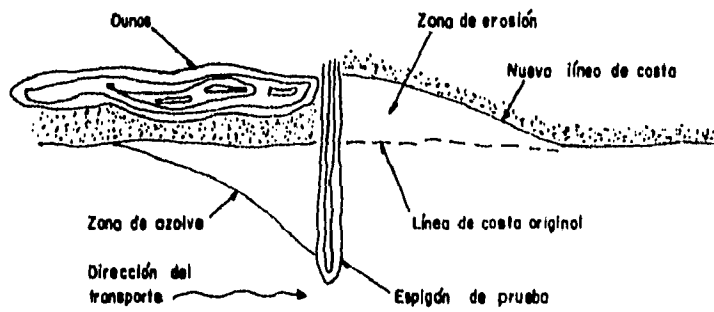


fig. 1.19 Espigón de prueba

CAPITULO 2

Rompeolas.

2.1. Definición.

2.2. Configuración de los rompeolas.

2.2.1. De un solo brazo.

2.2.2. De dos brazos.

2.2.3. De dos brazos convergentes.

2.3. Clasificación de los rompeolas.

2.3.1. Enrocamiento.

2.3.2. Elementos artificiales.

2.3.3. De pared vertical.

2.3.3.1. Cajones de concreto.

2.3.3.2. Cajones de madera.

2.3.3.3. Rompeolas de tablaestaca.

2.3.4. Rompeolas neumático e hidráulico.

2.3.5. Rompeolas sumergidos.

2.4. Factores que determinan la construcción de un rompeolas.

2.5. Construcción de rompeolas de talud.

2.6. Diseño de rompeolas de promontorio.

2.1. Definición.

Un rompeolas es una estructura construida con el propósito de formar un puerto artificial con un área de mar, protegida de los efectos de las olas y mareas del mar, en donde se puedan realizar maniobras de navegación, carga y descarga de las embarcaciones, con facilidad.

Cualquiera que sea la función que se quiera que cumpla un rompeolas, estructuralmente deberá ser capaz de resistir las diferentes acciones o fuerzas a que estará sujeto, siendo la principal de ellas, la correspondiente al oleaje.

2.2. Configuración de los rompeolas.

2.2.1. De un solo brazo.

Consiste en un brazo unido a la costa, este tipo de rompeolas de un brazo, se emplea cuando predomina una dirección para el oleaje y marea fig. 2.1 (unidireccional).

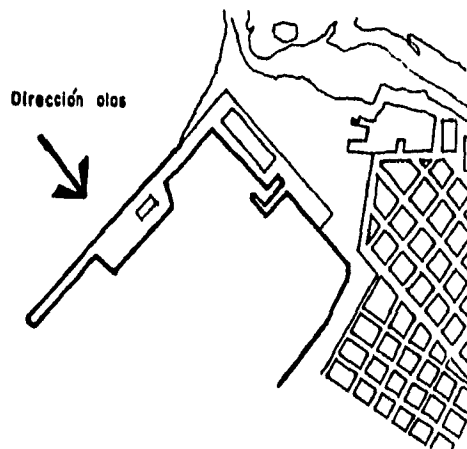


fig. 2.1 Rompeolas de un solo brazo

2.2.2. De dos brazos.

Uno de los brazos es más o menos paralelo a la costa, formando dos entradas al puerto fig. 2.2.

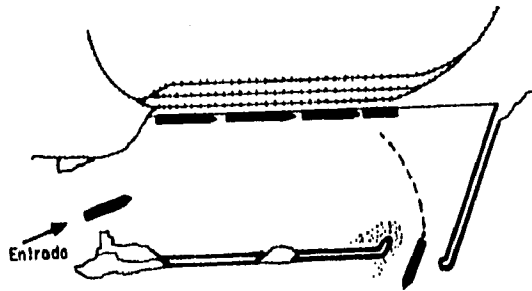


fig. 2.2 rompeolas de dos brazos

2.2.3. De dos brazos convergentes.

Ambos brazos del rompeolas, nacen de la costa y se encuentran separados en el extremo, pennitiendo únicamente el acceso de los buques fig. 2.3.

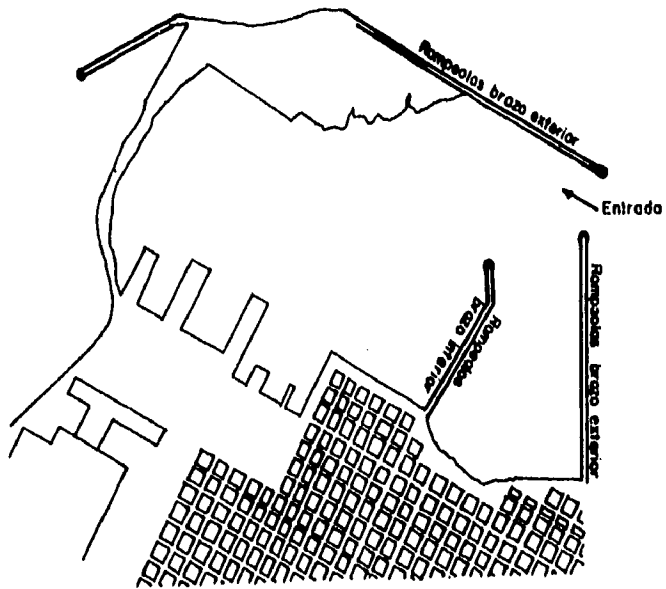


fig. 2.3 Rompeolas de dos brazos convergentes

Como ya se mencionó, la función de un rompeolas es disipar la energía del oleaje; sin embargo, en ocasiones la extensión del área de la dársena protegida, es tan grande que es necesario aún dentro de ésta, construir un brazo más para disminuir y disipar la energía de las olas que se generan dentro de la dársena, como se indica en la figura 2.3 (Veracruz, Méx.).

2.3. Clasificación de los rompeolas.

2.3.1. Enrocamiento.

Está constituido en general, por un núcleo de enrocamiento, 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 recibe el nombre de "capa secundaria", figura 2.4. En algunas ocasiones sobre la corona de él, se construye un parapeto o pared vertical, para evitar el rebase del oleaje sobre la estructura ("overtopping").

Este tipo de rompeolas con pendientes, tiene por objeto la disipación del oleaje incidente en él. El material para este tipo de rompeolas, es producto de la explotación de una cantera. En México la mayoría de los rompeolas son de enrocamiento, dada la geología del país.

La colocación del enrocamiento, no se hace con un determinado arreglo, por lo que se dice que está puesto al "azar", la cual permite contar con una mayor rugosidad ante el movimiento ascendente y descendente del oleaje.

La sección de la estructura de enrocamiento (California) que se muestra en la figura 2.5, se adapta a cualquier profundidad de agua y puede prácticamente construirse sobre cualquier tipo de suelo. Este tipo de estructura se usa ampliamente en los Estados Unidos de Norteamérica, particularmente en la costa del Pacífico.

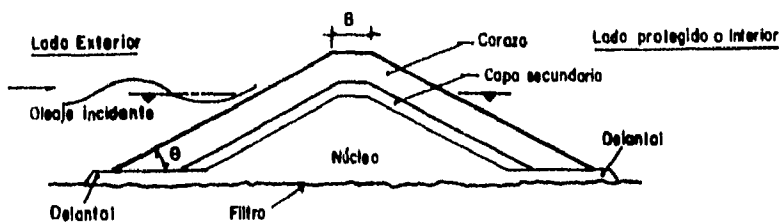


fig. 2.4 Sección rompeolas de talud

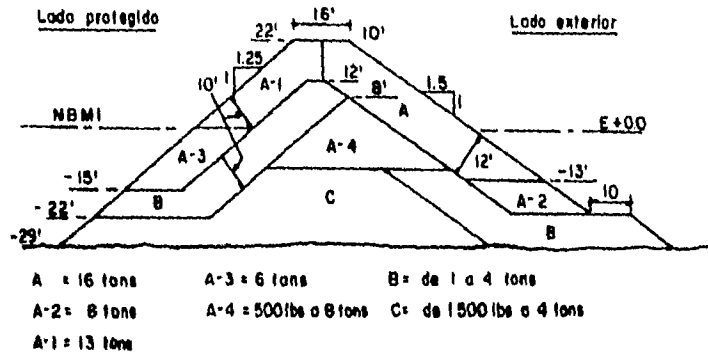


fig. 2.5 Rompeolas de enrocamiento (California)

Dentro de las ventajas principales de las estructuras de enrocamiento, se tiene que: los asentamientos de la estructura, ocasionan un reacondo de las piedras que la componen, incrementando su estabilidad en lugar de originar fracturas en toda la estructura, y la acción del oleaje reflejado, es mucho menor que la reflejada por un muro vertical sólido.

Por lo que se refiere a las principales desventajas de una construcción de enrocamiento, son: La gran cantidad de material que se requiere, lo cual representa un alto costo inicial si no se dispone del material satisfactorio, dentro de una distancia económica de acarreo y la cantidad de energía del oleaje que se propaga a través de la estructura, si el núcleo no es lo suficientemente alto e impermeable.

2.3.2. Elementos de coraza de concreto precolado.

En aquellos lugares donde no se dispone económicamente de rocas en cantidades o tamaños adecuados, se emplean formas geométricas construidas de concreto. Desde que los elementos de concreto precolado se han empleado en los EUA, principalmente para el mantenimiento de las estructuras existentes, se ha encontrado que se justifican económicamente como materiales básicos para la construcción, si no se dispone de roca natural cerca del sitio propuesto para la instalación.

Se han usado diferentes formas. Inicialmente fueron los cubos y el tetraedro.

Ahora bien, para mejorar la estabilidad de unidades armadas de bloques de concreto, se han ideado y probado varias unidades irregulares armadas de concreto de forma irregular. Las más

cimientos, probadas extensamente en la Estación Experimental de Veracruz, México, de F. E. con tetrápodos, cuadrípedos (patentados, por lo que para el uso de este tipo de elementos también requiere el pago de derechos), hexápodos, octápodos, cubos modificados y tetraedros modificados aunque este último mencionado, no se recomienda, debido a que los resultados de las pruebas no fueron favorables. Otras nuevas formas de unidades de concreto que se han desarrollado pueden ser usadas en la capa principal o coraza del rompedor de escoria de concreto en los últimos años son "stabs", "akmons", "dolos", "bloques vice" y "tetraedros limados". De las recomendaciones que los laboratorios Marítimos de México creen un elemento nacional (con trabajo suficiente) a las pruebas para evitar pagar regalías.

Las unidades irregulares de concreto, tienen una ventaja sobre las bloques de concreto estándar en permitir pendientes más inclinadas y unidades de menor peso. Esto se debe a su mayor forma de forma y superior absorción de la energía de la ola. Por último, se puede obtener una alta grado de regularidad y permeabilidad de superficie, lo cual da como resultado la drenaje de la masa del agua; encausándolas en corrientes turbulentas y por lo que se separan unas a otras. Las estructuras en los intersticios de la obra. Como resultado de las experiencias mencionadas, se sabe que puede reducir el peso por unidad, comparada con las bloques de concreto, pero al mismo tiempo de estabilidad.

Como una complementación a las pruebas de estabilidad y permeabilidad ya mencionadas, se hicieron pruebas de drenaje de agua. Las pruebas se hicieron con una estructura de concreto que representó el un tamaño y número similar del que se está estudiando y se colocaron en un lugar que permitiera drenar el agua. Este elemento se usó solamente sobre el agua y se colocó en un lugar que permitiera drenar el agua y se hicieron en la forma de un cono de concreto que permitiera drenar el agua y se colocó en un lugar que permitiera drenar el agua.

En resumen se puede decir que las pruebas de estabilidad y permeabilidad ya mencionadas, han dado como resultado un elemento de concreto que representa el un tamaño y número similar del que se está estudiando y se colocaron en un lugar que permitiera drenar el agua. Este elemento se usó solamente sobre el agua y se colocó en un lugar que permitiera drenar el agua.

1. El uso de unidades de concreto, en una estructura que se está estudiando, puede ser una alternativa para evitar pagar regalías.

comunes, probadas extensamente en la Estación Experimental de Vías Navegables de E.U., son tetrápodos, cuadrúpedos (patentados, por lo que para el uso de este tipo de elemento artificial, se requiere el pago de derechos), hexápodos, tribarras, cubos modificados y tetraedros modificados, aunque este último mencionado, no se recomienda, debido a que los resultados de las pruebas no fueron favorables. Otras nuevas formas de unidades de concreto que se han desarrollado, probado y usado en la capa principal o coraza del rompeolas de corazón de escombros en los últimos años son "stabits", "akmons", "dolos", "bloques svec" y "tetraedros huecos". Es recomendable que los laboratorios Marítimos de México creen un elemento nacional (con trabazón suficiente) y lo prueben para evitar pagar regalías

Las unidades irregulares de concreto, tienen una ventaja sobre los bloques de concreto estándar, en permitir pendientes más inclinadas y unidades de menor peso. Esto, se debe a su mejor factor de forma y superior absorción de la energía de la ola. Por último, es preferido por su alto grado de regularidad y permeabilidad de superficie, lo cual da como resultado la división de la masa del agua; encausándolas en corrientes turbulentas y por lo que se oponen una a otra, las estructuras en los intersticios de la otra. Como resultado de las propiedades mencionadas, ha sido posible reducir el peso por unidad, comparada con los bloques de concreto, para el mismo grado de estabilidad.

Como dato complementario, el tetrápodo fue desarrollado y patentado por la Incorporación Neyptic De Grenoble, Francia. Los tetrápodos son formas totalmente de concreto, que consisten en un corazón o núcleo central del cual salen radial y simétricamente espaciadas cuatro patas cónicas truncas. Estos elementos, se usan solamente sobre el talud de la estructura que va hacia el mar y se apoyan en la corona en una capa de concreto de suficiente peso para evitar su desplazamiento, debido a las olas que sobrepasan la corona, figura 2.6.

Un elemento de concreto más reciente, es la "tribarra", desarrollada y patentada por Palmer en Hawaii. La tribarra es un elemento de concreto sin refuerzo que consiste de tres barras ligadas entre sí por tres brazos radiales. La tribarra, se usó en la construcción de 656 m de rompeolas de Nawiliwili, por lo que respecta a los derechos por su uso, el Gobierno de los EUA, permite el uso libre de las tribarras.

- El cubo modificado y el hexápodo, son otros elementos que se han probado en modelo en los EUA, pero aún no han sido probados en una estructura prototipo.

El desarrollo de los elementos prefabricados, se ha restringido a Francia y los EUA.

- El stabit (52), básicamente un tetraedro hueco, ha sido desarrollado en Inglaterra.
- El akmon (155), una forma de doble cuña, desarrollada en Holanda.
- El bloque svee (203) desarrollado en Noruega.

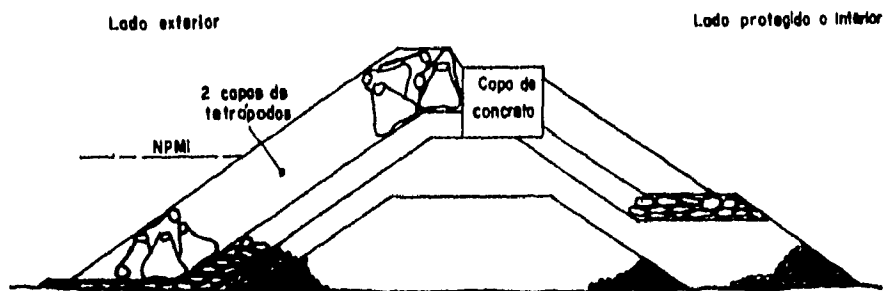


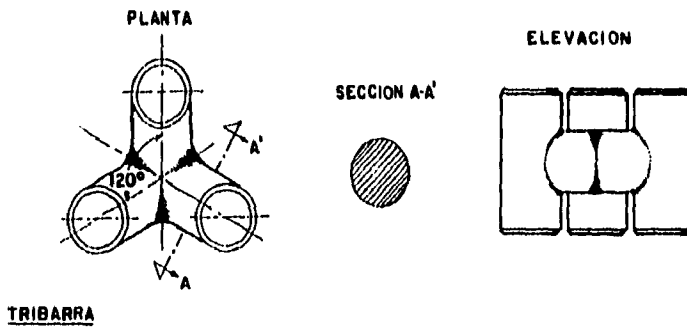
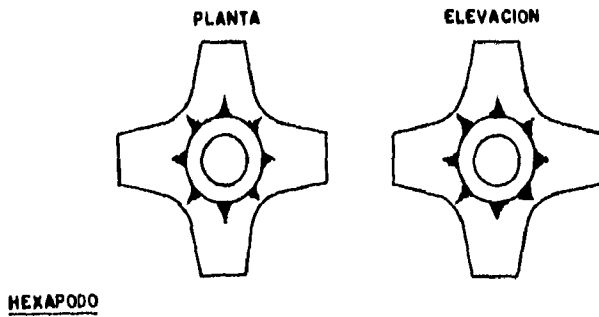
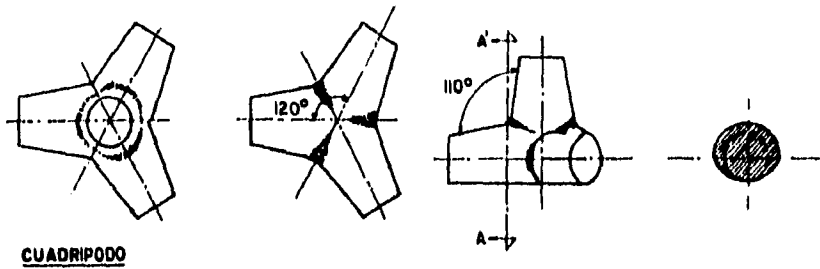
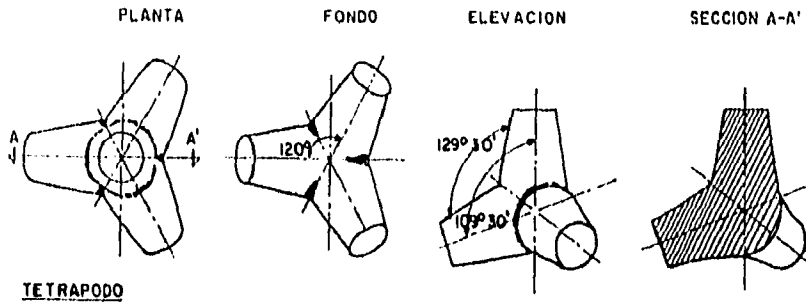
fig. 2.6 Rompeolas de enrocamiento y tetrápodos

2.3.3. De pared vertical.

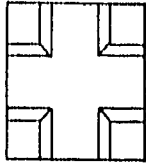
Están constituidos por una pared vertical formada en general, por cajones de concreto, rellenos con arena o roca, sustentados por un enrocamiento.

Cabe anotar que este tipo de estructura, no permite que la ola rompa sino más bien que se refleje, regresando la energía al mar; sin embargo, la denominación genérica de los rompeolas se ha aceptado tanto para los de talud, como para los de pared reflejante.

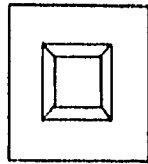
El rompeolas de pared vertical, el cual se encuentra generalmente en aguas de mayor profundidad que la altura de ola, refleja la ola de una manera oscilatoria, así cuando la ola se desplaza hacia arriba por la pared, alcanza una altura aproximadamente de dos veces su original en aguas tranquilas. Por eso la altura del rompeolas sobre la marea más alta, no puede ser menor que $1/3$ hasta $1/2$ de la ola de mayor altura, y la profundidad debajo de la marea más baja, hasta la base de la pared, no puede ser menor a $1/4$ hasta $1/2$ (se recomienda dos veces la altura de la ola



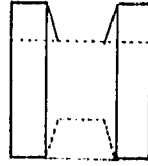
PLANTA



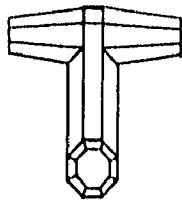
FONDO



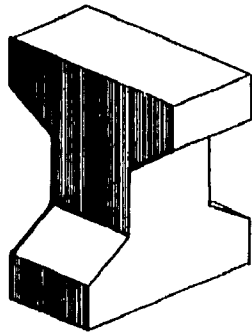
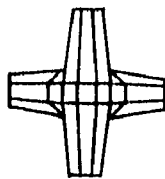
ELEVACION



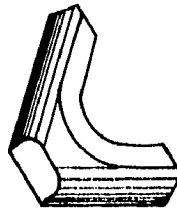
CUBO MODIFICADO



DOLO



AKMON



STABIT

máxima). Aunque esta profundidad en general, no es arriba de 15 a 18 mts., el problema que presenta es el tamaño de la pared, ya que su ancho, no será menor que $\frac{3}{4}$ la altura de la pared. En aguas de mayor profundidad, hasta de 40 metros, la pared se desplanta sobre una base de escombros o piedra (fig. 2.7).

El diseño de este tipo de rompeolas, se realiza mediante el análisis de las presiones, desde la cimentación hasta la parte superior para la determinación de la magnitud y de la distribución de la ola, y que es tal vez la parte más insegura del diseño.

Dentro de las ventajas del rompeolas de tipo vertical encontramos por su sección que:

- Provee entradas más angostas al puerto.
- Hace posible el amarre de embarcaciones a un lado de éste.
- El costo de mantenimiento, se elimina casi totalmente.
- Cuando falte un banco de material cercano, este tipo resulta como ahorro en costo y tiempo.

Desventajas de los rompeolas de pared vertical:

- Solamente puede ser construido donde se presenten condiciones favorables para la cimentación del mismo.
- No tiene flexibilidad estructural.
- Una vez dañado es difícil su reparación.
- Su elevación sobre el nivel del mar, debe ser mayor a comparación de los rompeolas de talud.
- La maquinaria que se requiere para su construcción es más cara y difícil de transportar.

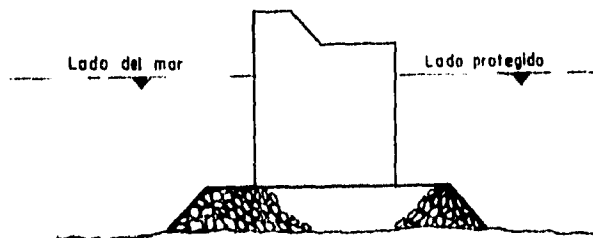


fig. 2.7 Rompeolas de pared vertical

2.3.3.1. Cajones de concreto.

Los rompeolas de este tipo, están contruidos de cascarones de concreto reforzado, los cuales son llevados por flotación hasta su posición, colocados sobre una cimentación previamente preparada, rellenos con piedra o arena para proporcionar estabilidad y después, cubiertos con losas de concreto o capas de piedra. Estas estructuras pueden construirse con o sin muros de parapeto. En general, los cajones de concreto son de dos tipos; un tipo que tiene fondo integrable de concreto reforzado, el otro tipo no tiene fondo permanente. La base del segundo tipo se cierra con un fondo de madera provisional, el cual se quita después de que se coloca el cajón sobre la cimentación. La piedra que se usa para rellenas los comportamientos, se combina con el material de la cimentación para proporcionar una resistencia adicional contra los movimientos horizontales.

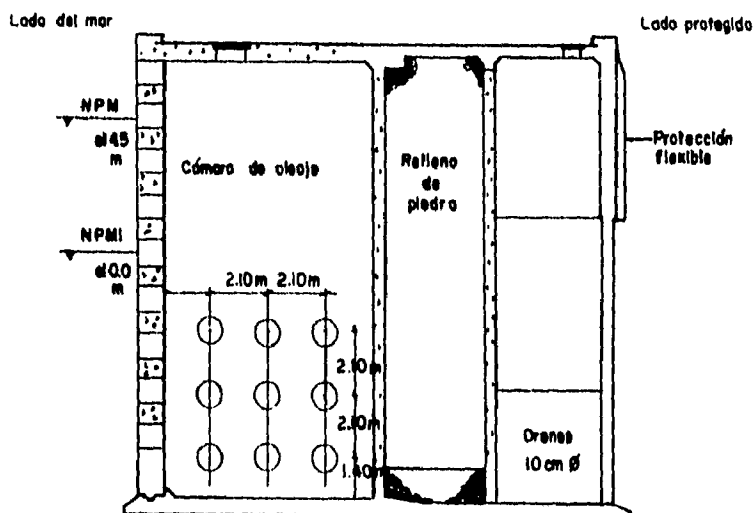


fig. 2.8 Rompeolas de cajones de concreto (Canadá)

La figura 2.8 ilustra un nuevo concepto del rompeolas tipo cajón (102, 103) y está patentado por el Gobierno Canadiense. La instalación en Bahía Conneau, Quebec utiliza cajón como muelle en lado del puerto. Las perforaciones del mar en ella reducen eficientemente la condición indeseable que presenta un muro vertical liso, disipando parcialmente la energía del oleaje dentro de la cámara, y resulta en clapotis, mucho más pequeñas que la amplitud de la clapotis en comparación con un rompeolas de pared vertical.

Los cajones, generalmente son convenientes para profundidades de 3 a 10 mts. Las cimentaciones deben prepararse para soportar la estructura y para evitar la socavación en la base. Se pueden

emplear pilotes para soportar la estructura. Generalmente, se coloca enrocamiento pesado a lo largo de los cajones para protegerlos contra la socavación, desplazamiento horizontal, desplome cuando el cajón está soportado sobre pilotes. Se requiere mucho trabajo y una plataforma flotante adecuada, para preparar una cimentación de enrocamiento. La corona del enrocamiento donde se va a apoyar el cajón, debe nivelarse de preferencia por medio de buzos.

Cabe mencionar que este tipo de cajones, se construye en tierra sobre planos inclinados para facilitar su botadura o en estructuras especiales a manera de diques flotantes.

2.3.3.2. Cajones de madera.

Se han usado más en los grandes lagos, en particular al inicio del desarrollo de los rompeolas cuando la madera para su construcción era barata en la región. las viejas construcciones de este tipo, consistían de cajones de 2.5 a 3.5 m², divididos en compartimientos por paredes transversales y longitudinales, luego llenados de roca y hundidos a lo largo de la línea del rompeolas.

La superestructura era de una cubierta continua de madera de 2 a 2.5 m, sobre el nivel del mar, lo cual decayó debido a que era muy dañado por tormentas. Después, la parte superior de los cajones fue reducida aproximadamente de 1 m bajo el nivel del agua y se usaron bloques de concreto "colado in situ" para reconstruir la superestructura hasta 2.5 a 3.00 m arriba del nivel del lago.

Un ejemplo de este tipo de rompeolas es el del puerto del Sur en Buffalo, New York que originalmente fue construido entre 1898 y 1900. Su superficie fue muy dañada en el otoño de 1900 por tormentas y en 1902 una nueva superestructura de concreto, era completada sobre una distancia de 540 mts, figura 2.9.

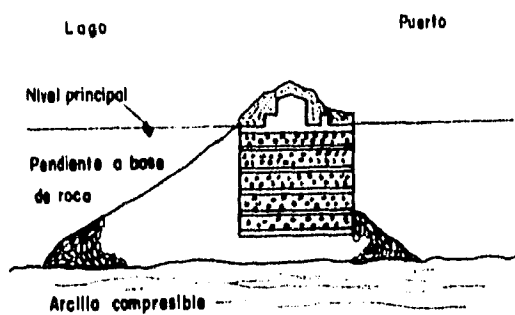


fig. 2.9 Rompeolas de cajones de madera (N Y)

2.3.3.3. Rompeolas de tablaestaca.

Donde las condiciones de oleaje no sean muy severas, se construyen rompeolas de tablaestacas de concreto o de acero. Los rompeolas de tablaestacas, se conciben como cajones de tablaestacas unidos entre sí o como dos paredes de tablaestacas, sirviendo una a la otra de anclaje, mediante tensores y diafragmas, rellenándose con materiales pétreos y poniéndoles coronamiento de concreto.

En el uso de la tablaestaca de acero, es una sola fila de tablaestaca con o sin "machones"; dispuesta de tal forma que actúe, como una pantalla; muros dobles de tablaestaca unidos con tensores, rellenando el espacio entre muros con piedra o arena (si se usa arena, generalmente se ligan los muros formando compartimientos, por medio de tablaestacados perpendiculares), y el tablaestacado de acero que son modificaciones del tipo del doble muro, figura 2.10.

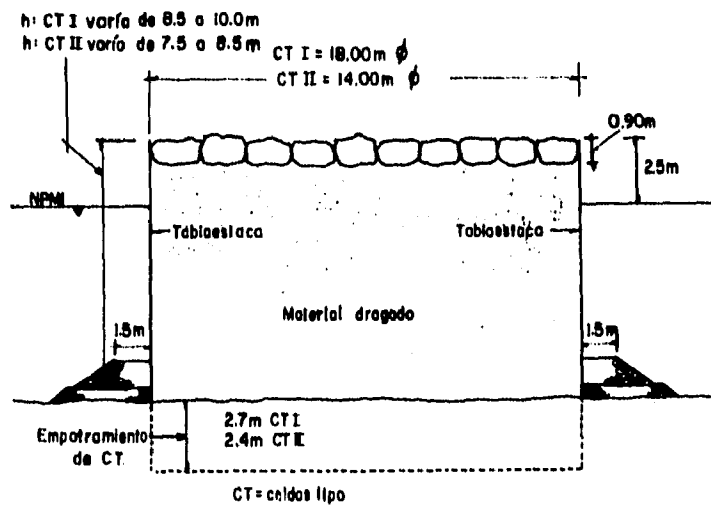


fig. 2.10 Rompeolas de tablaestaca

Dentro de las ventajas y desventajas.

Las estructuras celulares de tablaestacas de acero, requieren poco mantenimiento y son convenientes para construcciones en profundidades superiores a los 12 mts y sobre toda clase de suelos. Estas estructuras tienen ventajas de orden económico y en lo referente a su rapidez de construcción, pero durante la misma, están sujetas a daños de las tormentas.

La acción corrosiva del agua de mar es su principal desventaja, si la acción abrasiva de la arena y el agua, corroe el metal exponiendo el acero vivo, la vida útil de la tablaestaca no excede de 10 años. Sin embargo, si no se presenta la corrosión, la tablaestaca puede durar del orden de 35 años o más.

Se cree que algunos descubrimientos recientes de recubrimientos protectores de plástico, y protección catódica eléctrica, ampliarán efectivamente la vida económica de la tablaestaca de acero. Si se usa piedra para rellenar la estructura, la vida útil será mayor que con relleno de arena, debido a que los agujeros que primeramente se presentan en la lámina, tendrán que ser bastante grandes como para que salgan las piedras del relleno y se reduzca la estabilidad de la estructura, no así con la arena.

2.3.4. Rompeolas neumático e hidráulico.

Un rompeolas neumático es un medio de control de olas con aire comprimido, cuando las olas son controladas por inyección de agua el método es llamado como rompeolas hidráulico, la figura 2.11 muestra los dos tipos de rompeolas mencionados.

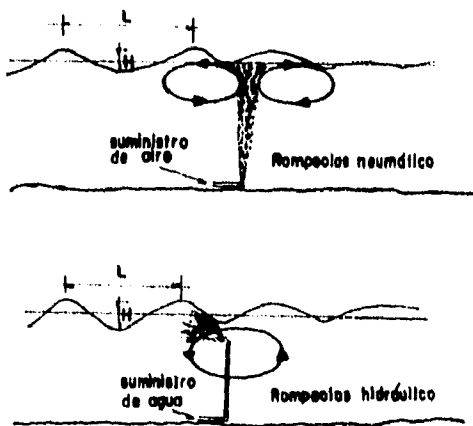


fig. 2.11 Rompeolas neumático e hidráulico

El principio de este tipo de rompeolas fue desarrollado por un Americano, Mr. Philip Brasher, quien patentó un proceso de control de olas mediante la inyección de burbujas de aire a la superficie. Su método fue aplicado después de 1915 para proteger de la acción de las olas al

muelle de la "Standard Oil Company", California, después que fuera de la porción, es decir fuera de costa, había sido destruido por una severa tormenta.

El fenómeno de calma de olas mediante las burbujas de aire no fue claramente entendido. Este método no ha sido aceptado mundialmente, debido a su acción sobre las olas. Sin embargo ha sido retomado con interés en desarrollar y complementar el mecanismo por actuales instalaciones y añadiendo mejores entendimientos de este fenómeno a través de más modelos de prueba y estudios.

Por lo que respecta a su costo de mantenimiento es alto, comparado con la experiencia adquirida en los pocos prototipos instalados. Ambos rompeolas se usan en aguas poco profundas y se coloca una tubería perforada del diámetro adecuado, a la que se le suministra aire o agua, con lo que se logra interrumpir el oleaje y disminuir su altura. Estos tipos de rompeolas también se utilizan en obras provisionales. Estos rompeolas han quedado en etapa de experimentación debido a su alto costo que significa detener el oleaje con agua o viento.

2.3.5. Rompeolas sumergidos.

Cuando solo una protección parcial es requerida, el rompeolas puede estar debajo del principal nivel del mar o algunos metros por encima de éste. El rompeolas sumergido, puede ser usado para control y proteger los cauces navegables de un río o en algunas áreas de lagunas costeras, también se utilizan en las playas para protegerlas de procesos de erosión y arrastre. Por lo que en estos casos, estas estructuras son una adecuada solución, debido a que son más económicas que los rompeolas convencionales.

Un rompeolas sumergido, es una barrera natural o artificial cuya cresta o corona queda bajo el nivel de reposo del agua o a ras del mismo.

Este tipo de rompeolas absorbe o disipa parte de la energía de las olas que llegan a él, ocasionando así que éstas, se rompan prematuramente; de la energía que no se alcanza a disipar, una porción se refleja y el resto se transmite en la dirección de avance de las olas. Puesto que la energía transmitida es menor que la incidente, la altura del oleaje que se forma después de la estructura, suele ser también menor.

La cantidad de la energía que logra amortiguarse, depende esencialmente del nivel de sumersión del rompeolas: cuanto menos inmerso se encuentra el rompeolas, mayor es la energía que le resta al oleaje incidente. De acuerdo con esto, en sitios donde el intervalo de amplitud de las mareas sea muy grande, la eficiencia de un rompeolas sumergido será comparativamente menor durante las mareas altas, y lo contrario sucederá durante las mareas bajas. Por lo que se recomienda que

este tipo de rompeolas se construya en sitios en donde la marea tenga rangos sumamente pequeños, figura 2.12.

Dentro de las principales aplicaciones de los rompeolas sumergidos tenemos las siguientes:

- - Protección de entradas de puertos.
- - Reducir el azolvamiento de canales de entrada.
- - Reducir la erosión de las playas.
- - Formación de estanques para acuicultura y en la protección de zonas recreativas.

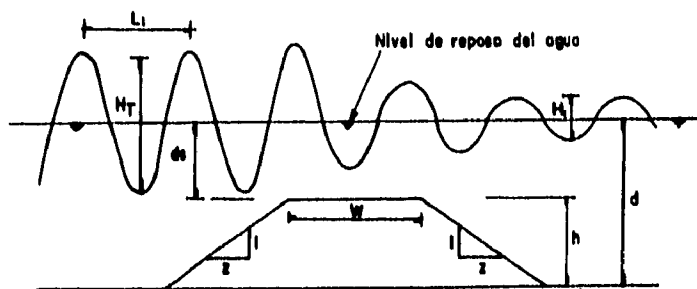


fig. 2.12 Rompeolas sumergido

ds = Sumersión de la corona de la estructura.

d = Profundidad de agua.

w = Ancho de la corona.

z = Talud de la estructura.

h = Altura de la estructura.

H_T = Altura de la ola incidente

L = Longitud de la ola incidente.

H_1 = Altura de la ola transmitida.

K = Coeficiente de transmisión.

ds/d = Sumersión relativa del rompeolas.

2.4. Factores que determinan la construcción de un rompeolas.

La construcción de un rompeolas estará sujeta por factores de diversa índole: Tales como los de carácter técnico, costo y los derivados por los estudios económicos. Se tienen así como factores más importantes los:

Meteorológicos: Nos interesa conocer la intensidad, dirección y frecuencia de los vientos, ya que para la colocación del material con equipo de tierra y/o flotante, se dificulta la operación cuando éstos tienen velocidades mayores a 50 km/hr. Asimismo, detectar con respecto al tiempo, la precipitación pluvial en las zonas de trabajo, para tomar en consideración los días de inactividad y el proyecto de patios y caminos secundarios por donde transita el equipo.

Oceanográficos: La agitación de mar en la zona de trabajo, tanto en amplitud como en dirección, a fin de tomar precauciones para la protección de las secciones no terminadas, que carecen de la coraza, para evitar degradaciones en la capa secundaria y el núcleo.

Ingeniería de costas: Conocimiento del acarreo litoral para tomar en consideración durante la construcción, los depósitos o azolves y las erosiones que se producirán al modificarse las condiciones naturales de las playas vecinas, por efecto de la obra (configuración de la línea costera).

Mecánica de suelos: Esta información es indispensable, ya que sirve para relacionar por ejemplo: Los asentamientos que sufra el rompeolas en sus diversas fases.

Materiales: El conocimiento de los materiales disponibles es quizá el aspecto más importante en la realización de un proyecto de rompeolas. Para los rompeolas a talud, el material que ofrece una mayor economía, lo son los materiales pétreos naturales. Si por efecto del peso requerido en los elementos de coraza, no es posible obtener roca, se requiere la fabricación de elementos artificiales (tetrápodos, dolos, bloques, y cubos modificados, entre otros).

Un estudio de la distancia económica del transporte de los diversos materiales, bien por vía terrestre o marina, nos permitirá determinar el tipo de coraza a utilizar, ya sea de roca o elementos artificiales.

Otro factor que interviene, es el peso de los elementos que estará en función de la altura de la ola de diseño, por lo general cuando el peso de los elementos, rebasa las 10 a 15 ton, es difícil

obtener en la forma natural, y se recurre en este caso a los elementos artificiales. Los diferentes pesos de material que intervienen en un proyecto determinado, relacionados con las características y potencia de nuestra pedrera, nos definirá los tipos de elementos a utilizar.

La falta de estudios detallados en este campo, inciden en forma negativa en el costo de la obra, por efecto de las modificaciones al proyecto y suspensión parcial de la obra mientras se ajusta el proyecto a la realidad. Por lo que en la construcción del rompeolas, la logística en el suministro de materiales juega un papel de primer orden. Se recomienda la investigación en este campo, ya sea en laboratorios Privados o Gubernamentales, con partida exclusiva

La vialidad: Es un aspecto de gran importancia, ya que nos permite realizar con eficiencia y economía, el suministro masivo de los materiales. La economía de los transportes nos permite definir el tipo de transporte a utilizar, ya sea terrestre o marítimo.

En los estudios correspondientes al tipo de transporte a utilizar, se incluirán puertos de servicio cuando el transporte sea por agua y la posibilidad de construir caminos y/o ferrocarril, a la zona de obra. En el caso de transporte terrestre, este aspecto es de vital importancia y debe considerarse prioritario, dentro de los trabajos previos a la iniciación de obra.

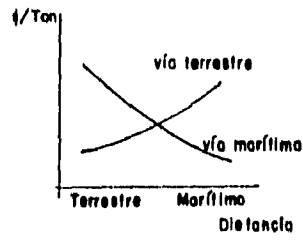
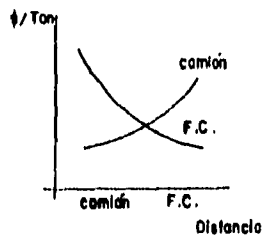
En las siguientes figuras, se muestran las posibles alternativas para el vertido marino y terrestre del núcleo y la colocación de los elementos que forman la capa secundaria y coraza, la cual puede llevarse a cabo con equipo terrestre y/o equipo flotante.

Asimismo, se podrán observar las características de equipos flotantes: barcazas de descarga por fondo para vertido marino de núcleo y chalanes planos con grúa para la colocación de elementos naturales y/o capa secundaria y coraza.

El proyecto, los volúmenes de obra y el tiempo de ejecución, nos permiten determinar el equipo adecuado en número y características.

El tamaño del puerto requerido. Determinado por los requerimientos de magnitud de volumen de mercancía que se moverá por éste.

La dirección del eje del rompeolas puede ser recto o curvo o seguir una línea quebrada, ello dependerá de la topografía del fondo, así como la magnitud del área que se pretenda proteger y las características del suelo en que se asentará la estructura.



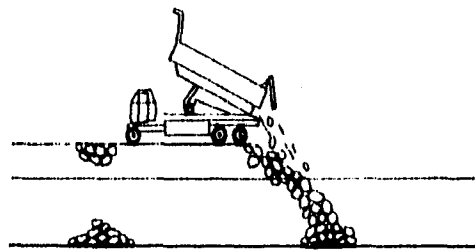
**DISTANCIA ECONOMICA POR TIPO
DE TRANSPORTE**

2.5. Construcción de rompeolas de talud.

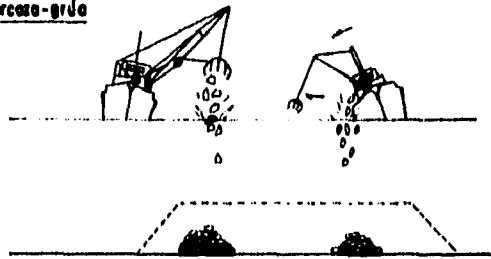
Equipos para la construcción.

Para la selección del equipo, influirá el tipo de elementos que forman el rompeolas, así como el volumen y periodicidad de los programás de ejecución de obra.

Vertido carretera



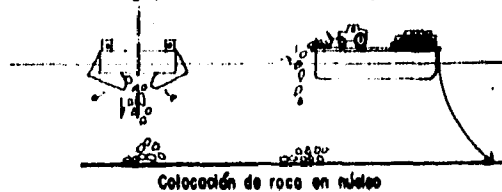
Barcoza-grúa



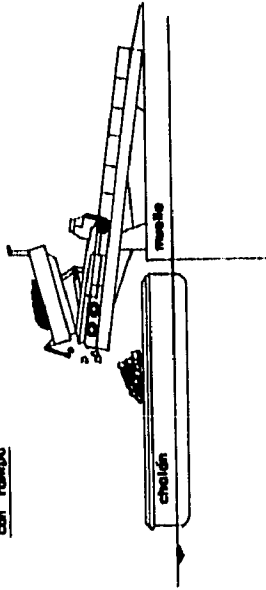
Barcoza

Descarga por fondo

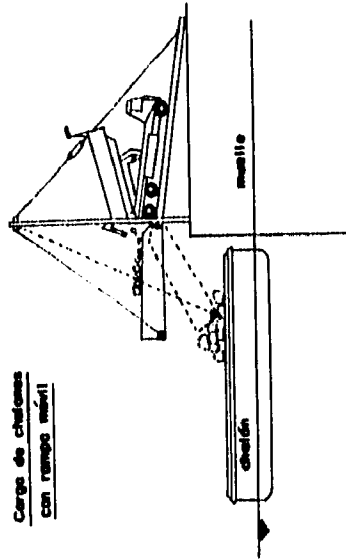
Chalón plano



Carga de chelones con rampa



Carga de chelones con rampa móvil



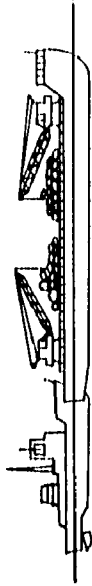
Chelón con remolcador



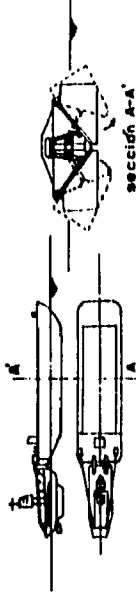
Barcoza entrapada



Barcoza con empujador o remolcador

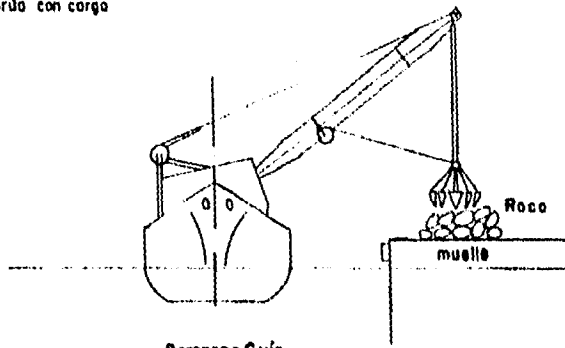


Barcoza de descarga por fondo con empujador o remolcador

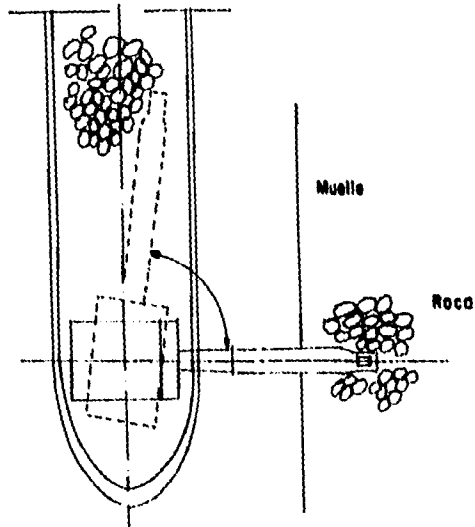


Transporte marítimo de reco

Grúa con carga



Borcoza - Grúa



Carga de roca en borcoza - Grúa

Para la obtención de materiales, contaremos con el equipo adecuado en las siguientes fases.

CONCEPTO	EQUIPO
Explotación:	
De roca: agregados para concreto	Bulldózer, compresoras y perforadoras.
Selección	Cargadores frontales, grúas hidráulicas y cribas.
Carga:	
A transporte terrestre	Cargadores frontales grúas hidráulicas y cribas.
A equipo marino	Palas mecánicas
Transporte:	
Camión	Yucles, tracto camiones
Chalán	Chalánes planos
Barcaza	De descarga por fondo, autopropulsadas o remolcadas
Colocación:	
Con equipo terrestre	Grúas de celosía
Con equipo flotante	Chalánes planos con grúa. chalánes con zancos y grúa.

Para la colocación, ya sea con equipo terrestre o marítimo, se pueden presentar los siguientes casos:

a) Pedrera en la vecindad de la obra y longitud corta de los rompeolas.

El transporte será por tierra, ya sea por vía ferrocarril o carretera; en este caso, empleando camiones, el transporte será de la pedrera al pie de la obra; el núcleo a volteo, la capa secundaria con charola y grúa, y la coraza con garra y/o aditamento de sujeción y grúa.

Si es por vía ferrocarril por lo general, se requieren patios de almacenamiento en puertos para posteriormente ser colados en obra.

Si el ancho del coronamiento lo permite, es posible construir la vía para que directamente se descargue el equipo ferroviario al pié de grúa.

b) Pedrera en la vecindad de la obra y una gran longitud de rompeolas.

En este caso, resulta conveniente la construcción de un puerto de servicio, lo cual permite la colocación con equipo terrestre y flotante.

c) Pedrera distante con transporte marítimo.

En este caso, es obligado contar con dos puertos de servicio, uno en la pedrera y otro en obra.

Dado que las obras de este tipo son susceptibles al empleo de equipo marítimo y terrestre, el puerto de servicio en obra, nos permitirá la descarga del equipo flotante para la colocación terrestre.

El vertido marino únicamente se puede realizar para el núcleo, ya que la capa secundaria y coraza, se colocan con equipo flotante y grúa, y/o desde tierra.

Procedimiento de construcción

La construcción del núcleo, se hace colocando el material a volteo, cuidando que éste adopte el talud calculado. El material es empujado por un tractor y el ancho de la corona mínima será el ancho del tractor empleado, o el que luego vaya a ser requerido por otras máquinas o bien para el acceso y salida simultánea de los vehículos para la construcción.

El material de menos peso, se hace a volteo y en la práctica, se considera que durante su ejecución no está sometido al oleaje. Constituyen el apoyo de las capas superiores, las que se forman con materiales de graduación tal, que deben impedir la acción directa de las olas, sobre los materiales más pequeños. El peso mínimo de los elementos componentes del núcleo, está en función de las características del oleaje en la zona donde se construirá: sin embargo, por razones prácticas, el núcleo se compone de material, cuyos pesos van desde la fracción del kilogramo, hasta varias decenas de kilos.

Las capas secundarias y la coraza, se van colocando con una grúa puesta en la corona del rompeolas y su avance debe seguir muy de cerca al extremo del núcleo, a menos que se tenga la

seguridad de que no habrá un mal tiempo, que podría, al generar oleaje de gran tamaño, degradar aceleradamente el núcleo. El material del núcleo, también puede depositarse desde chalánes de fondo abatible y luego ser acomodado manualmente por buzos en el fondo del mar.

Para el caso en que el rompeolas por construir requiera el empleo de equipo flotante, se coloca la piedra de coraza sobre un chalán y sobre éste, se monta una grúa con la que será colocada la piedra de la coraza y de las capas secundarias, para no interferir con el trabajo de construir el núcleo del rompeolas. Este procedimiento sólo es posible emplearlo cuando la agitación del mar lo permite.

Es indudable que los elementos precolados tienen, por un lado, la ventaja de tener las dimensiones y el peso deseado, de tal manera que puedan fabricarse en serie; no obstante su costo elevado.

La colocación de los elementos precolados puede hacerse de dos modos:

1. En montón, arrojado al azar.
2. Acomodado (concentrados)

Desde luego arrojar los elementos al azar es lo más adecuado, pues rompe mejor la energía del oleaje al permitir que penetre entre sus huecos.

Los elementos precolados acomodados, tienen la desventaja de reducir el número de huecos y por ende, disipan menos efectivamente la energía de la ola, sobre todo si son de forma paralelepípedica.

Para el caso de los rompeolas a base de piedra, se recomienda que éstas, sean de alta densidad, sin planos de fractura, resistentes a la erosión (adecuada dureza), así como a la acción de los sulfatos, al ataque del agua del mar y a la acción de los fenómenos meteorológicos, cuando actúan sobre los rompeolas. Densidad recomendada 2.4.

El morro constituye el extremo final del rompeolas y lo cierra, protegiendo adecuadamente al núcleo y capa(s) secundaria(s), se construye prolongando la piedra de coraza sobre el extremo, protegiéndolo también, de la difracción del oleaje.

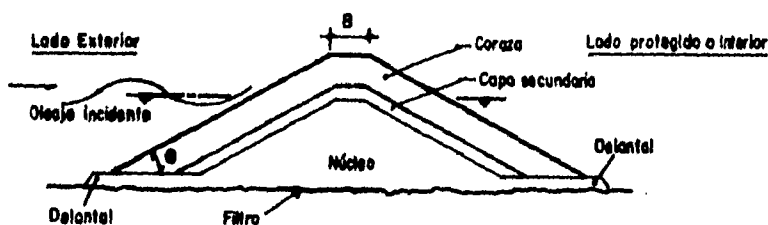
Algunos rompeolas tienen en su corona, un parapeto de concreto a manera de calzada de acceso que lo recorre longitudinalmente, ello con el fin de tener un ahorro de material, dicha calzada cumple con la función de acceso permanente para el mantenimiento de taludes del rompeolas.

La conservación de este tipo de estructura, debe hacerse periódicamente ya que constantemente, se degradan por la acción del oleaje.

2.6. Diseño de rompeolas de promontorio.

Los rompeolas, escolleras y espigones, son tres obras que se construyen generalmente con enrocamiento de rocas de gran tamaño o elementos artificiales de concreto. Están formados por dos partes: un cuerpo y un morro, el cuerpo se inicia desde el arranque en la playa o costa, hasta un poco antes del final de la estructura; el morro lo constituye la zona final y es la parte más expuesta al oleaje. Se considera como morro los últimos 20 a 50 m de la obra según su longitud; en él se colocan los elementos más pesados y sus secciones transversales, deben ser simétricas, colocando los mismos elementos, tanto del lado exterior como del interior (igual peso).

La sección transversal de una escollera o de un rompeolas, generalmente está formada de:



- **Coraza (capa primaria).** Es la parte exterior de la estructura y está formada por una o dos capas de elementos; los que deben resistir la acción directa del oleaje.
- **Capa secundaria,** Sirve para soportar los elementos de la coraza y ademas como filtro, para evitar que salgan los elementos de la capa en que se apoya. Puede haber una o más capas secundarias, cada una formada con dos capas de elementos.
- **Núcleo.** Sirve como soporte y relleno a la estructura y es de tipo masivo.
- **Delantales.** Su objetivo es proteger la escollera contra la socavación al pie de la misma: se recomienda que su espesor "e", sea mayor de 50 cm, y su longitud L mayor de 5.00 m en el lado opuesto al oleaje y entre 1.50 a 2.00 m en el lado protegido.

- **Filtro y apoyo.** Capa extendida de piedra que se coloca antes de desplantar la estructura, sirve para evitar el hundimiento de las piedras, durante la construcción, debido a las corrientes y el oleaje. También, evita que la arena del fondo sea succionada y extraída de entre los huecos dejados por las rocas, cuando se presentan grandes tormentas. De ocurrir lo anterior, se propicia el hundimiento o deslizamiento de algunas zonas de la estructura. El filtro puede evitarse en ocasiones, ya que los delantales, pueden funcionar como protección que evite la extracción y movimiento de la arena sobre la que se apoya la obra.

Dos aspectos deben considerarse en el diseño de un rompeolas: son geometría y estabilidad de la sección transversal del rompeolas. Esto nos conduce a considerar lo siguiente.

- a) Características del oleaje.
- b) Disponibilidad y características de los materiales de construcción.
- c) Utilización de modelos reducidos.
- d) Procedimientos de construcción y equipo disponible.

Desde luego la geometría, depende de la finalidad de la obra. Lo principal en el diseño de la sección de un rompeolas de talud, es el cálculo de los elementos naturales o artificiales que forman la coraza. Una vez determinado el peso de los elementos de la coraza, se obtiene fácilmente el espesor de ésta, así como el espesor de la capa secundaria y los pesos límite de los materiales que forman estas capas.

A la fecha, se conocen 18 fórmulas para la determinación de los pesos de los elementos que componen la coraza. En todas ellas, intervienen la altura de la ola significativa, el ángulo que el talud forma con la horizontal y el peso específico del material; en algunas fórmulas, también interviene el período de la ola.

Las fórmulas más conocidas en nuestro medio son las de :

IRRIBARREN (Español)	$W = K H_o \gamma_r / (\cos \alpha - \sin \alpha)^3 (\gamma_r - 1)$	Fórmula teórica-empírica (1933)
--------------------------------	---	---------------------------------

HUDSON (Norteamericano)	$W = \gamma_r H_o^3 / (K_D (K_r - 1)^3 \cot \alpha)$	Armada de los E.U. Estación de Experimentos (1955)
BEAUDEVIN (Francés)	$W = (KH^3 \gamma_r / (\gamma_r - 1)) (1 / (\gamma_r - 1) \cdot 0.15)$	

donde.

W = Peso de un elemento en la capa primaria o coraza; en kgf.

K = Coeficiente experimental.

IRRIBARREN	de 0.015 para bloques naturales y de 0.019 para bloques artificiales de forma paralelepípedica
HUDSON BEAUDEVIN	con la naturaleza de los elementos componentes de la coraza.

H_o = Altura de la ola que se ha considerado para el diseño del rompeolas

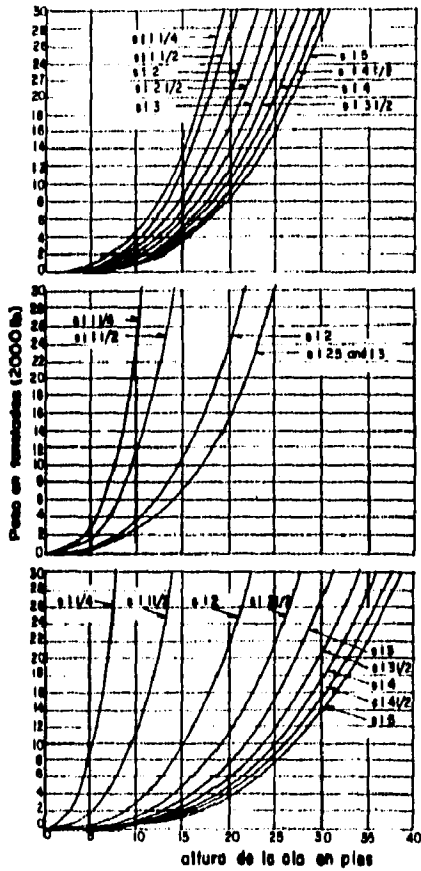
γ_r = Peso específico de los elementos que forman la capa de coraza, sea natural o artificial.

α = Angulo entre talud y fondo de rompeolas.

Con las curvas siguientes (del QUIIN) en función del peso del elemento - roca, pendiente del rompeolas y altura de la ola de diseño, se puede obtener una aproximación del rompeolas:

Peso de los elementos de la coraza .-

Cuando las estructuras se forman con elementos sueltos que se cubren con piedras o elementos artificiales de concreto, el peso necesario de la coraza se calcula con la fórmula propuesta por HUDSON y está basada en la de IRRIBARREN:



s = pendiente

RELACION ENTRE PESO DE LA ROCA, PENDIENTE Y ALTURA DE LA OLA.

$$W = \gamma_r H_o^3 / (K_D (K_r - 1)^3 \cot^2 \alpha)$$

donde.,

W = peso de un elemento en la capa primaria o coraza, en kgf.

γ_r = peso específico del elemento que va a formar la coraza, kgf/m³

K_r = densidad de sólidos, igual a $\frac{\gamma_r}{\gamma_w}$, donde γ_w es el peso específico del agua en el cual estará inmerso el rompeolas, adimensional.

H_o = altura de la ola de diseño, frente a una sección de rompeolas, en m. Se trabaja con la ola significativa.

α = ángulo del talud de la estructura con respecto a la horizontal, en grados.

K_D = coeficiente de estabilidad, cuya obtención se explicará a continuación.

Selección del coeficiente de estabilidad, K_D .

- A. Las variables que intervienen en la selección del coeficiente K_D son:
- B. Tipo de piedra y elementos artificiales de concreto (número de unidades que forman el espesor de la coraza: generalmente se utilizan dos)
- C. Forma de colocación de los elementos (al azar o acomodados).
- D. Características de la ola que incide sobre la estructura, ya sea rompiente o no rompiente.
- E. Espesor de la coraza.
- F. Ángulo que forma el talud de la estructura con respecto a la horizontal.

En la tabla 2.1 se indican los valores de K_D y en ellos se considera un posible daño entre 0 y 5 por ciento. Si se desea tomar en cuenta un porcentaje de daño mayor, el valor K_D se determinará con la tabla 2.2.

Los valores de la tabla 2.2 únicamente se utilizan, si la ola es no rompiente, si se está diseñando el tronco y el espesor de la coraza está formado por dos elementos, colocados aleatoriamente.

Tabla 2.1 Valores recomendados de K_D para determinar el peso de las unidades de coraza (criterio sin daño y mínima roci6n, seg6n CERC).

Tipo de elementos en la coraza	n (1)	Colocaci6n	Cuerpo de escollera K_D (tronco)		Morro de la escollera K_D		Talud cot
			Ola rompiente	Ola no rompiente	Ola rompiente	Ola no rompiente	
Roca de cantera Lisa y redondeada	2	azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3.0
Lisa y redondeada	> 3	azar	2.8	3.2	2.1	2.3	(5)
Rugosa y angulosa	1	azar (2)	(2)	2.9	(2)	2.3	(5)
Rugosa y angulosa	2	azar	3.5	4.0	2.9, 2.5, 2.0	3.2, 2.8, 2.3	1.5, 2.0, 3.0
Rugosa y angulosa	>3, 2	azar especial (3)	3.9, 4.8	4.5, 5.5	3.7, 3.5	4.2, 4.5	(5)
taidr6podo y cuadrir6podo	2	azar	7.2	8.3	5.9, 5.5, 3.7	6.6, 6.1, 4.1	1.5, 2.0, 3.0
Tribar	2	azar	9.0	10.4	8.3, 7.8, 7.0	9.0, 8.5, 7.7	1.5, 2.0, 3.0
Dolos	2	azar	22.0(6)	25.0(6)	15.0, 13.5	16.5, 15.	2.0(7), 3.0
Cubo modificado	2	azar	6.8	7.8	--	5.0	(5)
Hex6podo	2	azar	8.2	9.5	5.0	7.0	(5)
Tribar	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	(5)

(1) N6mero de elementos de la capa de coraza

(2) El uso de una capa de coraza, formada con un s6lo elemento de roca, sujeta a olas rompientes, no es recomendada y s6lo bajo condiciones especiales para olas no rompientes. Cuando se empleen las rocas, se deben colocar cuidadosamente.

(3) Colocaci6n longitudinal con el eje longitudinal de la roca, puesto en direcci6n perpendicular al paramento de la escollera.

(4) aplicable en taludes comprendidos entre 1.5:1 y 5:1.

(5) Hasta no tener información disponible acerca de la variación de K_D con respecto al talud, el uso de K_D deberá limitarse a taludes comprendidos entre 1.5:1 y 3:1. Esto se debe a que los resultados de algunos pruebas, indican dependencia del valor K_D con el talud

(6) Datos disponibles únicamente para taludes 2:1.

(7) Pendientes mayores de 2:1, no son recomendables en la actualidad.

Tabla 2.2 Valores de K_D en función del daño sobre la coraza y el tipo de elementos utilizado

Tipo de elemento		Daños, en porcentaje (D)						
		0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50
roca de cantera lisa	H/H _D =0	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
	K_D	2.4	3.0	3.6	4.1	5.1	6.7	8.7
roca de cantera rugosa	H/H _D =0	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	K_D	4.0	4.9	6.6	8.0	10.0	12.4	15.0
tetrapodo y cuadrípodo	H/H _D =0	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K_D	8.3	10.8	13.4	15.9	19.2	23.4	27.8
Tribar	H/H _D =0	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
	K_D	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

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 ensayo 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 el ensayo de modelo 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 elementos que se mueven con respecto al número total de los elementos.

Si el oleaje rompe contra la estructura, el talud expuesto al oleaje, se construirá con roca de peso W , lo mismo se hará con toda la corona. En cambio el talud protegido, se construirá con roca que tiene un peso $W/2$, como se indica en la fig 2.13.

Cuando el oleaje es no rompiente, los pesos de los elementos de la coraza, se indican en la fig. 2.14.

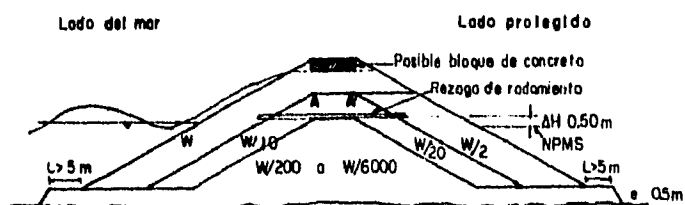


fig. 2.13 Sección para oleaje rompiente

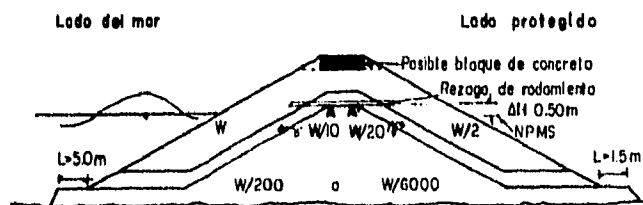


fig. 2.14 Sección para oleaje no rompiente

Para la formación del morro, se recomienda distribuir los tamaños de los elementos según lo mostrado en la fig. 2.15.

Peso de los elementos de la capa secundaria y núcleo.

En la fig. 2.15, se indican los pesos de los elementos que se recomiendan utilizar en la capa secundaria y núcleo, tanto cuando la ola rompe contra la escollera o rompeolas, como para la condición de no rompiente.

Los tamaños recomendados en las figuras 2.13 y 2.14, evitan que salgan los elementos de las capas interiores.

La fig. 2.15 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 el lamido o sobrepase ("overtopping") más frecuentemente.

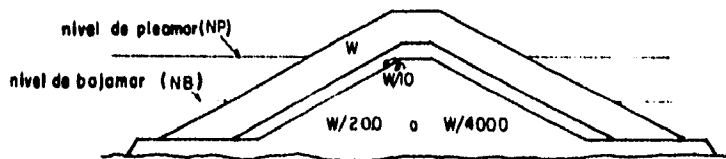


fig. 2.15 Sección para oleaje de ambos lados

Distribución de tamaños a lo largo de la escollera o rompeolas.

Se recomienda que la longitud total de la obra, se divida en 2 a 4 zonas y cada una, se diseñe para diferente altura de oleaje, dicho oleaje se considera casi siempre rompiente, excepto en el tramo que incluye el morro, ya que ahí el oleaje podrá romper o no romper.

El diseño final de una escollera, se deberá hacer una vez que se conozca la distribución aproximada de los tamaños de roca que se obtienen de la pedrera, cuando se explote para obtener el máximo tamaño requerido. Conocida la distribución de tamaños de la roca, se busca la combinación del número de tramos y longitud de los mismos con sección transversal constante, hasta lograr el aprovechamiento máximo del banco. Este procedimiento permite una mayor economía en el costo de la obra. Como cada zona en la que se dividió la escollera, tiene tamaño diferente de roca, y esos tamaños aumentan del arranque hacia el morro, también aumentará la elevación de la corona en esa dirección y el último tramo será el más elevado.

Tomando en cuenta lo anterior, el peso de los elementos de cada zona de la sección transversal, puede variar dentro de ciertos límites; en la tabla 2.3 se indican los diferentes rangos de valores en el peso de ellos.

Capa o zona	Peso teórico	Pesos reales comprendidos entre
Coraza	W	(1.25 Y 0.75)W
	W/2	(1.25 Y 0.75)W/2
Secundaria	W/10	(1.30 Y 0.70)W/10
	W/20	(1.30 Y 0.70)W/20
Núcleo	W/200 Y W/4000	W/200 Y W/4000
	W/200 Y W/6000	W/200 Y W/6000

Tabla 2.3 Graduación de tamaños, según el CERC.

Ancho de la corona.

El ancho mínimo de la corona, tanto de la coraza y capa secundaria, se determina mediante.

$$B = n K_{\Delta} (W / \gamma_5)^{1/3}$$

donde:

n = número de elementos, el máximo recomendado es de 3.

K_{Δ} = coeficiente de capa (tabla 2.4).

W = peso de un elemento en la coraza kgf.

γ_5 = peso específico del elemento, en kgf/m³

Elevación de la corona

La elevación de la corona queda determinada por:

- La necesidad de evitar el paso de la ola sobre la corona; se obtiene conociendo el alcance máximo del oleaje.
- El procedimiento de construcción.

En la mayoría de las obras, el segundo punto es el de mayor importancia: El nivel de la corona, depende de la elevación del nivel de pleamar medio superior (NPMS), de la elevación del plano

de construcción de la primera etapa y de los espesores de la coraza y capa secundaria. Así por ejemplo, si se escoge la línea AA' (fig. 2.13) la elevación de la corona, debido al procedimiento constructivo, es igual a la elevación del NPMS, más 0.50m de bordo libre, más los espesores de la capa secundaria y de la coraza.

Espesor de la coraza y de la capa secundaria y número de elementos de la coraza.

El espesor E, ya sea de la coraza o capa secundaria, se determina con la siguiente ecuación:

$$E = n K_{\Delta} (W / \gamma_s)^{1/3}$$

El número de elementos en un área A del talud, está dado por:

$$N = n K_{\Delta} (1-P/100) (\gamma_s / W)^{2/3} A$$

donde:

N = número de elementos

A = área de la capa, generalmente se escoge un área unitaria de 10 a 100 m².

n = número de elementos que forman la capa.

P = porosidad en porcentaje (tabla 2.4).

W = peso de los elementos que forman la coraza.

Elemento de coraza	n	Colocación	Coefficiente de capa K	Porosidad (P), en porcentaje
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
Tetrápodo	2	Volteo	1.04	50
Quadripodo	2	Volteo	0.95	49
Hexápodo	2	Volteo	1.15	47
Tribar	2	Volteo	1.02	54
Dolos	2	Volteo	1.00	63
Tribar	1	Volteo	1.13	47

Tabla 2.4 Coeficientes de capa y porosidades de varios tipos de elementos de coraza.

CAPITULO 3

Tipos de rompeolas en diferentes puertos nacionales

3.1 Pacifico

3.2 Golfo y Caribe

3.1. PACIFICO.

BAJA CALIFORNIA

Situado en la península de Baja California al norte del paralelo 28 grados, colinda al norte con los Estados Unidos de América, al noroeste, con Sonora, al este con el Golfo de California Sur y al oeste con el Océano Pacífico.

El Sauzal.

Obras de protección:

Espigón Este

Año de construcción: 1981.

Longitud: 450 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 6 m

Material: piedra

Rompeolas Sur Año de construcción: 1981

Longitud: 450 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 6 m

Material: piedra.

El movimiento principal de este puerto es local y de uso pesquero. El tipo de tráfico es de cabotaje.

Ensenada.

Obras de protección:

Espigón del Gallo

Localización: al SE de la Dársena.

Año de construcción: 1982.

Longitud: 855 m

Ancho de corona: 6 m

Material: piedra.

Rompeolas

Localización: al Sur de la Dársena.

Año de construcción: 1952-56

Longitud: 1660 m

Ancho de corona: 8.90 m
Altura de corona: 6.45 m
Material: piedra.
corona de concreto ciclópeo.

Bordo Marginal

Localización: zona perimetral del puerto.
Año de construcción: 1956
Longitud: 2450 m
Ancho de corona: 7 m
Altura de corona: 3.50 m
Material: piedra

El movimiento principal de este puerto es: Turístico, Comercial y Pesquero. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

Isla Cedros.

Obras de protección:

Espigón

Localización: frente a la población.
Año de construcción: 1981.
Longitud: 254 m
Ancho de corona: 4 m
Altura de corona: +6.87 m
Material: piedra.

Ronpeolas

Localización: al Norte de la Planta Industrial Pesquera.
Año de construcción: 1981.
Longitud: 500 m
Ancho de corona: 4 m
Altura de corona: +6.87 m
Material: piedra de 2 a 7 ton.

El movimiento principal es de tipo Pesquero e Industrial y el tráfico es de Altura y Cabotaje.

BAJA CALIFORNIA SUR.

Esta rodeada en el 90% del litoral de mar, hacia el este el Golfo de California; al sur y oeste el Océano Pacífico y al norte colinda con Baja California Norte.

Cabo San Lucas.

Obras de protección:

Muro perimetral

Localización: circundando la

Dársena hacia el Este y el Oeste.

Año de construcción: 1981-82.

Longitud: 1200 m

Material: piezas precoladas de concreto armado, asentadas sobre piedras.

Escollera Norte

Localización: parte Sur de la Bahía.

Año de construcción: 1973.

Longitud: 103.50 m

Ancho de corona: 4.32 m

Altura de corona: 2.18 m

Material: núcleo y coraza de piedra.

El movimiento principal de este puerto es Turístico y en segundo plano Pesquero y Comercial. El tipo de tráfico es de Cabotaje.

La Paz.

Obras de protección:

Rompeolas

Localización: en Marina Palmira

Año de construcción: 1984-85.

Longitud: 590 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 2 m

Material: piedra de hasta 500 kg.

El movimiento principal es de tipo Comercial, Turístico, Pesquero y Militar. El tipo de tráfico es de tipo Cabotaje.

Santa Rosalia.

Obras de protección:

Rompeolas

Localización: al Sureste de la Dársena del Puerto.

Año de construcción: 1910.

Longitud: 2400 m

Ancho de corona: 17 m

Altura de corona: 6 m

Material: a base de capas de escoria de mineral fundido y talud protegido con coraza de piedra.

Espigón

Localización: en el Límite Norte.

Año de construcción: 1900.

Longitud: 816 m

Ancho de corona: 14 m

Altura de corona: 5.50 m

Material: a base de capas de escoria de mineral fundido y talud protegido con coraza de piedra.

El movimiento principal de este puerto es de tipo Comercial y Pesquero y como actividad secundaria la Turística. El tráfico es de tipo Cabotaje.

SONORA

Colinda al norte con los EUA; al sur con el estado de Sinaloa, al este con el estado de Chihuahua y al oeste con el Golfo de California.

Puerto Peñasco.

Obras de protección:

Rompeolas

Localización: al Oeste de la Dársena.

Año de construcción: 1964.

Longitud: 245 m

Ancho de corona: 4.98 m

Altura de corona: 6.15 a 6.30 m

Material: núcleo de piedra de todos tamaños y coraza de una tonelada.

Movimiento de tipo Pesquero, Industrial y Comercial. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

Yavaros.

Obras de protección:

Rompeolas Punta Lobera

Localización: al Sureste de Punta Lobera.

Año de construcción: 1927.

Longitud: 1950 m

Ancho de corona: 10 m

Altura de corona: -0.50 m

Material: enrocamiento a volteo.

Espigones

Localización: entre Isla de las Viejas e Isla de la Aduana

Año de construcción: 1979.

Longitud: 604.10 m

Ancho de corona: 8 m

Altura de corona: 1.89 m

Material: muro de piedra y revestimiento de concreto.

El movimiento principal es de tipo Pesquero y el Tráfico es de tipo Cabotaje.

SINALOA.

Alojado al Noroeste de la República, colinda con los estados de Sonora, Chihuahua al Norte; Nayarit hacia el Sur, al este con Durango y al oeste con el Océano Pacífico.

Mazatlán.

Obras de protección:

Rompeolas del Crestón

Localización: al Oriente del Cerro del Crestón.

Año de construcción: 1954-55.

Longitud: 450 m

Ancho de corona: 6 m
Altura de corona: 8 m al NBMI
Material: roca de 5 ton.

Rompeolas de Chivos

Localización: al Poniente de la Isla de Chivos.
Año de construcción: 1953-54.
Longitud: 280 m
Ancho de corona: 6 m
Altura de corona: 8 m al NBMI
Material: roca de 5 tons mínimo y tetrápodos.

Escollera (acceso al Rompeolas de Cresión).

Localización: al Oeste del Antepuerto, entre los Cerros del Vigía y de la Azada.
Año de construcción: 1930.
Longitud: 270 m
Ancho de corona: 10 m
Altura de corona: 5 m al NBMMI
Material: enrocamiento.

Escollera (Isla de la Chivos)

Localización: al Este del antepuerto entre las islas de Piedra y de Chivos.
Año de construcción: 1926-30.
Longitud: 1185 m
Ancho de corona: 6 m
Altura de corona: 6.50 m al NBMI.
Material: 485 m con bloques de concreto precolados y los restantes 700 m con enrocamiento de piedra de todos tamaños.

Rompeolas (Estación Transbordadores).

Localización: en el antepuerto sobre los terrenos de la Playa Sur.
Año de construcción: 1973.
Longitud: 290 m
Ancho de corona: 7 m

Altura de corona: 4.70 m al NDMI

Material: piedra.

Rompeolas Este

Localización: Refugio Pesquero contra ciclones.

Año de construcción: 1981-82.

Longitud: 209 m hasta las bitas y 384 m hasta el relleno.

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 3 m al NDMI

Material: piedra.

Rompeolas Oeste

Localización: Refugio Pesquero contra ciclones.

Año de construcción: 1981-82.

Longitud: 209 m hasta las bitas y 384 m hasta relleno.

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 3 m

Material: piedra.

El movimiento es de tipo Comercial, Pesquero y Turístico principalmente y como actividades secundarias las Militares. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

NAYARIT.

Colinda al Norte con los estados de Jalisco, Durango y Zacatecas y al Oeste con el Océano Pacífico.

Huanacastle.

Obras de protección:

Rompeolas de Cruz de Huanacastle.

Localización: costa sur de Nayarit en el poblado de Cruz de Huanacastle, Bahía de Banderas, Nayarit.

Año de construcción: 1976.

Longitud: 240 m

Ancho de corona: 5 m

Altura de corona: + 3.50 m

Material: piedra de hasta 4 ton.

El movimiento principal es Pesquero.

JALISCO.

Situado al occidente de la República. Colinda al Norte con Durango, Zacatecas y Aguascalientes al noroeste con San Luis Potosí, al este con Guanajuato, al sur con Michoacán y Colima y al oeste con el Océano Pacífico y Nayarit.

Puerto Vallarta.

Obras de Protección:

Escoliera Norte

Localización: extremo Norte del Canal de acceso.

Año de construcción: 1969.

Longitud: 150 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 2.97 m

Material: piedra natural.

Enrocamiento Marginal Sur

Localización: extremo Sur del Canal con una sección paralela al mismo.

Longitud: 297 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 2.97 m

Material: piedra.

Movimiento principal Turístico y Comercial. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

COLIMA

Colinda al norte y noroeste con Jalisco, al sureste con Michoacán y al sur y al oeste con el Océano Pacífico.

Manzanillo.

Obras de protección:

Rompeolas

Localización: extremo Sureste de la Bahía de Manzanillo.

Año de construcción: 1960.

Longitud: 700 m

Ancho de corona: 7 m

Altura de corona: 3 m

Material: piedra.

Escollera Norte

Localización: margen izquierda del Canal de Acceso al Puerto Interior.

Año de construcción: 1964.

Longitud: 300 m

Ancho de corona: 7 m

Altura de corona: 3 m

Material: piedra.

Escollera Sur

Localización: margen derecha del Canal de Acceso al Puerto Interior.

Año de construcción: 1964.

Longitud: 100 m

Ancho de corona: 7 m

Altura de corona: 3 m

Material: piedra.

Movimiento principal Comercial y Turístico, y en segundo plano el Pesquero y el Miliar. El tráfico es de Altura y Cabotaje

Las Hadas.

Obras de protección:

Rompeolas Norte

Localización: al Norte del Refugio, formando la bocana con dirección Sureste.

Año de construcción: 1969.

Longitud: 240 m

Ancho de corona: 5 m

Material: entrocamento y corona de concreto.

Rompeolas Este

Localización: su arranque se localiza frente a las piedras del Ojo.

Año de construcción: 1969.

Longitud: 100 m

Ancho de corona: 5.50 m

Material: Enrocamiento y corona de concreto.

Movimiento Turístico.

MICHOACAN.

Límite al Norte con los estados de Jalisco y Guanajuato; al Noreste con el estado de Querétaro; y al Este con el Estado de Guerrero y al Suroeste con el estado de Colima y el Océano Pacífico.

Lázaro Cárdenas.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: margen izquierda del Canal de Acceso.

Año de construcción: 1973-76.

Longitud: 310 m

Ancho de corona: 5 m

Altura de corona: 5.34 m

Material: piedra de 6 ton. y morro con piedra de 6 a 8 ton.

Escollera Sur

Localización: margen derecha de Canal de Acceso.

Año de construcción: 1972-75.

Longitud: 290 m

Ancho de corona: 6 m

Altura de corona: 4.7 m

Material: bloques de 5 ton, morro de 8 a 10 ton.

El movimiento principal es Industrial, Comercial y en segundo plano Pesquero y Militar. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

GUERRERO.

Se localiza en la parte Meridional de la República, colinda al norte con el Estado de México, al noroeste con Morelos y Puebla, al oeste con Oaxaca, por el sur y el sureste con el Océano Pacífico y al noreste con Michoacán.

Ixtapa Zihuatanejo.

Obras de protección:

Escollera Este

Localización: extremo Poniente de Playa Ixtapa.

Año de construcción: 1980.

Longitud: 120 m

Ancho de corona: 13 m

Altura de corona: 3 m

Material: roca de hasta 5 ton.

Escollera Oeste

Localización: extremo poniente de Playa Ixtapa.

Año de construcción: 1980.

Longitud: 84 m

Ancho de corona: 13 m

Altura de corona: 3 m aprox.

Movimiento de tipo Turístico.

Puerto Vicente Guerrero.

Obras de protección:

Rompeolas Noroeste

Año de construcción: 1981-83.

Longitud: 220 m

Ancho de corona: 6.20 m

Altura de corona: 6.65 m

Material: piedra de hasta 10 ton.

Rompeolas Norte

Año de construcción: 1981-83.

Longitud: 252 m

Ancho de corona: 4,60 m
Altura de corona: 5,61 m
Material: piedra de hasta 7 ton.

Movimiento de tipo pesquero.

OAXACA.

Limita al norte con el Estado de Puebla; al este con el Estado de Veracruz; al sureste con el Estado de Chiapas; con el Océano Pacífico y al noroeste con el Estado de Guerrero.

Salina Cruz.

Obras de protección:

Rompeolas Este

Localización: al Sureste del puerto.
Año de construcción: 1904-06.
Longitud: 754 m
Ancho de corona: 6 m
Altura de corona: 7 m
Material: piedra y concreto armado.

Rompeolas Oeste

Localización: al Suroeste del puerto.
Año de construcción: 1904.
Longitud: 330 m
Ancho de corona: 6 m
Altura de corona: 7 m
Material: piedra y concreto armado.

Rompeolas Oeste

Localización: al Suroeste del actual puerto.
Longitud: 245 m
Ancho de corona: 9,50 m
Altura de corona: 4 m
Material: piedra de hasta 6 ton.

Rompeolas Este

Localización: al Suroeste del actual puerto.

Año de construcción: 1987.

Longitud: 1365 m

Ancho de corona: 10 m

Altura de corona: 4 m

Material: piedra de hasta 16 ton.

Rompeolas Oeste

Localización: al Suroeste de Salina Cruz.

Longitud: 960 m

Ancho de corona: 10 m

Altura de corona: 4 m

Material: piedra de 16 ton.

El movimiento principal es de tipo Comercial, Pesquero y Militar. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

CHIAPAS

Limita al norte con Tabasco; al noroeste con Veracruz y Oaxaca, al este con la República de Guatemala y al sur con el Océano Pacífico.

Puerto Madero.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: al inicio del canal de acceso.

Año de construcción: 1972.

Longitud: 630 m

Ancho de corona: 6 m

Material: piedra de 1a y 2a y coraza.

El movimiento principal es Pesquero y Militar y en segundo plano el movimiento Comercial. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

3.2 GOLFO Y CARIBE.

TAMAULIPAS.

Colinda al norte con los EUA, al noroeste con el Estado de Nuevo León, al suroeste con San Luis Potosí, al sur con Veracruz y al este con el Golfo de México.

El Mezquital.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: Paraje el Mezquital, cordón litoral, Municipio Matamoros.

Año de construcción: 1977 y la prolongación del 85

Longitud: 571 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: +1.80 m

Material: piedra y bloque, dañada en 65 m normal tiempo.

Escollera Sur

Localización: Paraje el Mezquital, cordón litoral, Municipio Matamoros.

Año de construcción: 1977.

Longitud: 600 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 1.80 m

Material: piedra y bloques de concreto.

El movimiento es de tipo Cottercial y Pesquero.

Altamira

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: alineada con el faro.

Año de construcción: 1981,84-85

Longitud: 1188 m

Ancho de corona: 8.10 m

Altura de corona: 4 m

Material: piedra y cubos de concreto en el muro.

Escollera Sur

Localización: margen derecha del Canal de Acreso.

Año de construcción: 1981-84.

Longitud: 980 m

Ancho de corona: 6.28 m

Altura de corona: 4.74 m

Material: piedra de hasta 6 ton.

El movimiento es de tipo Industrial y Comercial. El tráfico es de Alfara y Cabotaje.

Tungaco.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: margen izquierda de la desembocadura del Río Pánuco

Longitud: 1340 m

Ancho de corona: 10 m

Altura de corona: 5.20 m

Material: piedra de hasta 30 ton.

Escollera Sur

Localización: margen derecha de la desembocadura del Río Pánuco

Longitud: 1445 m

Ancho de corona: 8 m

Altura de corona: 4 m

Material: piedra de hasta 30 ton.

Espigón Este

Localización: próximo a la Escollera Sur

Año de construcción: 1984-85.

Longitud: 165 m

Material: piedra.

El movimiento es de tipo Continental, Industrial y Resaca y se registra en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas y en los municipios de Ahuac y Cabañas.

VERACRUZ

Ocupa la porción central meridional de la vertiente hacia el Golfo de México. Limita al norte con Tlaxcala, al este con el Golfo de México; al sur con Chiapas y Tabasco; al suroeste con Oaxaca y al oeste los estados de Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí.

Tuxpan.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: margen izquierda desembocadura del Río Tuxpan

Año de construcción: 1951-53.

Longitud: 788 m

Ancho de corona: 10.50 m

Altura de corona: 3.92 m

Materiales: retículas de tablaroca machete Lavaca III, pilotes de acero y pilotes perforados con roca.

Escollera Sur

Localización: margen derecha desembocadura del Río Tuxpan

Año de construcción: 1951-53

Longitud: 591 m

Ancho de corona: 11.20 m

Altura de corona: 3.92 m

Materiales: Tablaroca Lavaca tipo II

El movimiento es de tipo Continental, Industrial y Resaca y se registra en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas y en los municipios de Ahuac y Cabañas.

Teuchitlán.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: desembocadura del Río Teuchitlán

Año de construcción: 1951-53

El movimiento es de tipo Comercial, Industrial y Pesquero y en segundo plano el movimiento Militar y Turístico. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

VERACRUZ.

Ocupa la porción central meridional de la vertiente hacia el Golfo de México. Limita al norte con Tamaulipas; al este con el Golfo de México; al sur con Chiapas y Tabasco; al suroeste con Oaxaca y al oeste los estados de Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí.

Tuxpan.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: margen izquierda desembocadura del Río Tuxpan.

Año de construcción: 1951-53.

Longitud: 788 m

Ancho de corona: 10.50 m

Altura de corona: 3.98 m

Material: retículas de tablaestaca metálica Larsen III, rellenas de arena y grava, protegidas con roca.

Escollera Sur

Localización: margen derecha desembocadura del Río Tuxpan.

Año de construcción: 1951-53.

Longitud: 598 m

Ancho de corona: 10.50 m

Altura de corona: 3.98 m

Material: Tablaestaca Larsen tipo III.

El movimiento es de tipo Comercial y Pesquero, y en segundo plano el Turístico y Militar. El Tráfico es de Altura y Cabotaje.

Tecolutla.

Obras de protección:

Escollera Norte

Localización: Desembocadura del Río Tecolutla.

Año de construcción: 1979-80.

Longitud: 471 m
Ancho de corona: 1.70 m
Altura de corona: 2 m
Material: bolsacreto.

8 Espigones

Localización: perpendiculares al eje de la escollera.
Año de construcción: 5 en 1980 y 3 en 82.
Longitud: 2 de 7m, 4 de 10m, y 2 de 14m.
Ancho de corona: 1.70 m
Altura de corona: 1.50 m
Material: bolsacreto

El movimiento es de tipo Pesquero.

Veracruz

Obras de protección:

Rompeolas Sureste

Localización Sureste zona Portuaria, formando la entrada a la bocana.
Año de construcción: 1888-1902
Longitud: 800 m
Ancho de corona: 3 m
Altura de corona: 2.68 m
Material: piedra y concreto.

Rompeolas Noreste

Localización: Noreste de la bahía formando la entrada de la misma.
Año de construcción: 1888-1902.
Longitud: 738 m
Ancho de corona: 7.30 m
Altura de corona: 3.80 y 2.45 m
Material: piedra y concreto.

Rompeolas Noroeste

Localización: Noroeste del centro de la Bahía, formando la entrada de la misma.

Año de construcción: 1881-1902.

Longitud: 454 m lado este y 549 m lado oeste

Ancho de corona: 6.70 m

Altura de corona: 4.30m

Material: piedra y concreto.

Rompeolas Mero de pescadores

Localización: Sureste del centro de la bahía, formando ésta y el antepuerto.

Año de construcción: 1882-1902.

Longitud: 600 m lado este y 530 m lado oeste

Ancho de corona: 10 m

Altura de corona: 2.49 m

Material: blocks de concreto simple.

El movimiento es de tipo Comercial, Industrial y Militar y como actividades secundarias la Pesquera y Turística. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

Alvarado.

Obras de protección

Escollera este

Localización: Margen derecha del río Papaloapan.

Año de construcción: 1969.

Longitud: 600 m

Ancho de corona: 3.95 m

Altura de corona: 2.39m

Material: piedra, tetrápodo y bloques de concreto.

Coatzacoalcos.

Obras de protección:

Escollera Este

Localización: Margen derecha del Río Coatzacoalcos.

Año de construcción: 1902 a 1905 y reconstrucción en 46, 64, 69 y 79.

Longitud: 1440 m
Ancho de corona: 10 m
Altura de corona: +2.60 m
Material: Piedra y bloques de concreto y tetragonos.

Escollera Oeste

Localización: Margen derecha del Río Contzacoalcos.
Año de construcción: 1902 a 1905, reconstrucción 1946 y reforzamiento en 1964 y 79.
Longitud: 905 m
Altura de corona: 2.60 m
Material: piedra, tetragonos y bloques de concreto.

El movimiento es de tipo Comercial, Industrial y Pesquero. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

TABASCO.

Situado en la región sureste de la República Mexicana, colinda al norte con el Golfo de México; al noroeste con Campeche; al sureste con Guatemala, al sur con Chiapas y al oeste con Veracruz.

Sánchez Magallanes.

Obras de protección:

Escollera ESTE

Localización: Margen derecha de la desembocadura de Laguna del Carmen.
Año de construcción: 1972.
Longitud: 280 m
Ancho de corona: 1.20 m
Altura de corona: 1.80 m
Material: bolsacreto.

Movimiento de tipo Pesquero.

Dos Bocas

Obras de protección:

Rompeolas Oriente

Localización: Margen derecha del canal de accesos al puerto de abastecimiento

Año de construcción: 1982 m

Longitud: 1000 m

Material: piedra degradada.

Rompeolas Poniente

Localización: 1 Km aprox. al poniente del puerto de abastecimiento.

Año de construcción: 1982.

Longitud: 1982

Material: piedra degradada en sus últimos 150 M.

Espigón

Localización: Margen izquierdauierda del canal de acceso al puerto de abastecimiento.

Año de construcción: 1982.

Longitud: 400 m

Material: piedra degradada en su arranque.

El movimiento es principalmente Comercial y el tráfico es de Altura y Cabotaje.

Frontera.

Obras de protección.

Escollera Este.

Localización: al Noroeste de la Desembocadura del Río Grijalva.

Año de construcción: 1952.

Longitud: 520.24 m

Ancho de corona: 8.80 m

Altura de corona: 1.26 m

Material: tablaestaca metálica.

Escollera Oeste

Localización: Margen derecha de la Desembocadura del Río Grijalva.

Año de construcción: 1973.

Longitud: 430 m
Ancho de corona: 1.20 m
Altura de corona: 1.80 m
Material: bolsacreto

El movimiento es de tipo Comercial y Pesquero. El tráfico es de Altura y Cabotaje.

YUCATAN

Ubicado en la parte norte central de la península de Yucatán, limita al norte con el Golfo de México, al oeste y suroeste con Campeche y al este y sureste con Quintana Roo.

Celston.

Obra de protección:

Escollera Sur

Localización: margen izquierda del canal, formando el canal.
Año de construcción: 1980-82.
Longitud: 333 m
Ancho de corona: 4 m
Altura de corona: +2 y +4 m
Material: piedra.

Escollera Norte

Localización: al norte de la Entrada del Canal de Acceso margen derecha.
Año de construcción: 1980-82.
Longitud: 369 m
Ancho de corona: 4 m
Altura de corona: +3 y +4 m
Material: piedra

El movimiento es de tipo Pesquero.

Yukalpetén.

Obras de protección:

Escollera Este

Localización: margen derecha del Canal de Acceso.

Año de construcción: 1968.

Longitud: 650 m

Ancho de corona: 4 m

Altura de corona: 1.90 m

Material: piedras y tetrágonos.

El movimiento es de tipo Pesquero, Turístico e Industrial, y en segundo plano el Militar y Comercial.

QUINTANA ROO.

Ubicado en la porción oriental de la Península de Yucatán, limita al norte con el Golfo de México, al este con el Mar Caribe, al sur con Guatemala, al oeste con Campeche y al noroeste con Yucatán.

Puerto Morelos.

Obras de protección:

Rompeolas

Localización: al oeste del

Atracadero del transbordador.

Año de construcción: 1982-84.

Longitud: 400 m

Ancho de corona: 6 m

Material: piedra.

Conclusiones

Se investigó la obra marítima de protección portuaria: ROMPEOLAS, tanto en sus formas (secciones) como sus materiales constitutivos y los existentes en el país, haciéndose un mayor énfasis en los rompeolas de talud o promontorio. Siendo que los Puertos Marítimos de la República Mexicana, tanto en el Pacífico como en el Golfo y Caribe, muestran como obras de protección, Rompeolas y Escolleras (similares en su forma y estructura), y que en su mayoría son de enrocamiento, lo cual indica la posibilidad de encontrar bancos de material próximos y que cumplen con las especificaciones de diseño.

En las características oceanográficas que se deben considerar para los rompeolas, se encuentran: viento, oleaje, mareas, corrientes y arrastre litoral, siendo de mayor delicadeza e interés para el ingeniero el oleaje, el cual está sujeto a la disposición de cartas meteorológicas y oceanográficas del oleaje, información de las observaciones en el área de estudio, en dado caso que las haya y de la experiencia y criterio del ingeniero. Por lo que a lo anterior, todo se resumirá en un diseño óptimo del rompeolas y que repercutirá en el aspecto económico de su construcción. Sin olvidar también que si existe una buena determinación de la marea, se eliminarán los azolves y se alterarán en menos grado, las características naturales de la costa y/o playa.

Para el punto de la configuración y clasificación, se encuentra que una de las alternativas al no disponer económicamente de rocas en cantidades y tamaños adecuados, es emplear elementos de concreto; en su mayoría los elementos más conocidos y empleados en algunos puertos de México, son los tetrápodos y tribarras. Por otro lado, los no recomendados son los cajones de madera y los neumáticos e hidráulicos, debido a la poca seguridad y mantenimiento constante que se les debe dar, resultando por tanto no seguros y caros.

Dentro de los rompeolas verticales, encontramos a los de concreto y los de estructuras celulares de tablaestaca de acero y que son convenientes para profundidades superiores a los 12 ms y su construcción es rápida.

En los factores que determinan la construcción de un rompeolas, los principales puntos son: La disponibilidad de materiales, el acceso al área donde se construirá el puerto, así como la comunicación con el banco de material, siendo estos puntos los que marcarán el costo y tipo de maquinaria a emplear en la construcción.

En la construcción del rompeolas, se deberá poner especial atención en tratar de no dejar las áreas del núcleo y capa secundaria expuestas a la erosión. Y además, teniendo en cuenta durante el proceso constructivo, el oleaje y mareas.

El diseño más común del rompeolas, se basa en la fórmula del norteamericano Hudson y que es empleada y recomendada por la Armada de los Estados Unidos, aunando a esto la experiencia y criterio del ingeniero que la aplique.

Por último, de acuerdo a los puertos expuestos en el capítulo 3, se puede ver que los Rompeolas y Escoleras, en su mayoría son de enrocamiento y por lo tanto, es necesario el desarrollo de rompeolas y escoleras, tanto en el diseño y construcción, como por la seguridad y economía de mantenimiento que ofrecen.

Glosario

fetch:	Se define como la longitud donde sopla el viento y en el área que actúa se genera un oleaje irregular.
línea isobárica:	Línea que une puntos de igual presión atmosférica.
viento geostrófico:	Gradiente horizontal de presiones entre dos líneas isobáricas.
vientos Alisios:	Masa de aire que viaja de norte y sur a la región ecuatorial.
vientos Contralisios:	Masas de aire que viajan de la región ecuatorial a los polos de la Tierra.
vientos polares:	Este aire polar se mueve a baja temperatura, constituyendo los vientos polares del este, que soplan en dirección a las calmas subtropicales.
vientos del oeste:	Vientos planetarios que predominan en las dos fajas comprendidas entre las calmas subtropicales y el frente polar, soplan en dirección aproximada del oeste.
fuerza de Coriolis:	Fuerza generada debido a la velocidad de rotación de la Tierra y es por ella que las partículas sufren desviaciones en su trayectoria.
fetch:	Se define como la longitud donde sopla el viento y en el área que actúa se genera un oleaje irregular.
tsunami:	Ondas de largo período, generadas por temblores ocurridos en el océano o por la erupción de algún volcán submarino.

bocana:	Paso estrecho de mar, que sirve de entrada a una bahía o fondeadero.
sea and swell statistics:	Cartas de oleaje local y distante.
ocean wave statistics:	Estadísticas de oleaje oceánico
ola significativa ($H_{1/3}$):	Se define como la altura de la ola de la ola promedio del tercio de las olas mas altas que hay en una observación y al promedio de los períodos comprendidos en el mismo tercio se le denomina período significativo ($T_{1/3}$).
pleamar:	Ascenso diario del mar debido a los astros (Luna y Sol).
bajamar:	Descenso diario del mar debido a los astros (Luna y Sol).
near shore currents:	Sistema de corrientes próximo a la playa
rip current:	Fuerza del oleaje hacia mar afuera y mas o menos normal a la playa, la cual se denomina corriente de resaca.
costa:	Frontera entre el mar y la tierra. Cuando esa frontera está formada por material no consolidado recibe el nombre de playa; dicho material es pétreo y generalmente es arena grava o bolco.
espigón:	Estructura marina que sirve para proteger playas contra la acción erosiva de las corrientes litorales y del oleaje.

BIBLIOGRAFIA

1. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI 1991.
2. Brunn, Gulf."Port Engineering". Publishing Company,1976
3. Catastro Portuario (GOLFO Y CARIBE) 1987, SCT y Puertos Mexicanos.
4. Catastro Portuario (PACIFICO) 1987, SCT y Puertos Mexicanos.
5. Frías, Valdez A."Ingeniería de Costas". Edit. Limusa,1988.
6. Hernández Labra, "Puertos", Méx.,DF., 1983.
7. Manual CIFSA.
8. Manual de terminología marítima y frases usuales en español - inglés.
PEMEX
9. Osorio, M."Construcción de obras exteriores, rompeolas y escolleras", SCT.
10. Quinn, A. "Design and Construction of Ports and Marine Structures", Mc Graw Hill, N.Y., 1961.
11. Sánchez. B."Manual de hidráulica marítima elemental", CFE. Méx D.F.,1981.

12. Texto para el proyecto del centro hidráulico portuario

Vol 8 Y 13.

(Métodos de diseño de las estructuras hidráulicas introduciendo el concepto de la irregularidad del oleaje, Marzo 1982).

13. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER.

"Shore Protection" 3a. ed.