

80  
28  
ju



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**“DISEÑO DE ROMPEOLAS DE TALUD”**

**TRABAJO ESCRITO**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO CIVIL**

P r e s e n t a :

**JOSE BERNARDINO HERNANDEZ MOSCO**



México, D. F.

1985



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

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

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

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

# I N D I C E

INTRODUCCION.	iii
1.- ASPECTOS TEORICOS.	1
1.1.- ANTECEDENTES.	1
1.2.- CARACTERISTICAS DEL OLAJE.	2
1.3.- SELECCION DE LA OLA DE DISEÑO.	3
2.- RECOPIACION DE DATOS.	5
2.1.- MEDICION DEL OLAJE.	5
2.2.- VARIACION DE LA ALTURA DEL OLAJE.	7
2.3.- OLAJE CICLONICO.	13
2.4.- OLAJE ROMPIENTE.	23
2.5.- ALTURA DE OLA EN LA ESTRUCTURA.	32
2.6.- ALCANCE VERTICAL DE LA OLA.	26
3.- TIPOS DE DISEÑO.	46
3.1.- GENERALIDADES	46

3.2.-	TIPOS DE ROMPEOLAS.	48
3.3.-	CRITERIO DE DISEÑO DEL ROMPEOLAS.	49
4.-	EJEMPLOS DE DISEÑO.	55
4.1.-	ANTECEDENTES.	55
4.2.-	PESO DE ELEMENTOS DE PROTECCION.	57
4.3.-	DIMENSIONAMIENTO DE ESPESORES.	61
4.4.-	ELEVACIONES Y ANCHOS DEL ROMPEOLAS.	64
5.-	COSTOS.	71
5.1.-	CONCEPTOS DE OBRA.	71
5.2.-	ESTIMACION DEL COSTO	73
6.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77

## A N E X O

-	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ROCA Y ELEMENTOS PREFABRICADOS.	81
-	BIBLIOGRAFIA.	92

- INTRODUCCION -

El objeto de este trabajo es el de formar una guía para el diseño de rompeolas y después elegir la solución adecuada de los casos presentados, cumpliendo con la finalidad requerida, que sea estable y además económico.

El propósito de los rompeolas es el de proteger ó formar puertos. La importancia de los rompeolas radica en que proporciona una zona de calma al puerto en cuestión, para que pueda operar en sus atracaderos con seguridad y salvaguardar las embarcaciones.

Con este trabajo se va a observar cuales son los factores más importantes en el diseño de un rompeolas y se hace un análisis de las condiciones del oleaje normal y extremal. Además vienen diversos tipos de diseño para conocer las formas y materiales con que los forman.

Después se presentan tres ejemplos de diseño, con lo que conocemos un costo relativo de esta estructura. Por último, las conclusiones y recomendaciones. Es donde se establece las soluciones propuestas y los puntos a nuestro criterio que afinar y complementar, a fin de obtener el diseño óptimo de solución.

## CAPITULO PRIMERO

### - ASPECTOS TEORICOS -

#### 1.1.- ANTECEDENTES.

Al diseñar una obra civil relacionada con el medio marítimo necesitamos conocer previamente toda la información posible de los factores relacionados con dicha obra, como son; los factores físicos, morfológicos, meteorológicos etc., del sitio de interés y que mediante un análisis de la información recopilada, formular una idea global de las condiciones que se presentarán para el diseño de la obra y así definir un -- criterio sobre los factores que afectarán la estabilidad y funcionamiento de la estructura a diseñar.

De los fenómenos naturales que nos interesan para realizar este trabajo, es el oleaje, pues este fenómeno nos da la fuerza crítica a la que se sujetan las estructuras costeras, por eso se deben diseñar para que soporten la máxima altura de la ola esperada, si económicamente es justificable.

Otro fenómeno natural que nos interesan son las mareas, las -----

cuales son ondas de agua de gran periodo, resultado de las fuerzas de atracción ó newtoniana de las masas de la luna y el sol sobre las aguas del mar.

Además necesitamos conocer las características de los elementos que formarán el rompeolas pues, con ello determinaremos el diseño requerido.

#### 1.2.- CARACTERISTICAS DEL OLEAJE.

Fundamentalmente el oleaje es producido por la acción del viento sobre la superficie del agua, por eso las características del oleaje se determinan primero en aguas profundas y posteriormente propagándose --- hacia la costa, pues el oleaje es afectado por el fondo de la playa y su propagación será con distintas características de las que hay en --- aguas profundas.

Los oleajes que afectan las estructuras costeras son de tipo normal o extremal; del oleaje normal se deben tener datos representativos de las características del lugar en estudio, siendo necesario contar -- con observaciones por un año, como mínimo del sitio.

Sobre el oleaje extremal, su importancia radica en los efectos - que tiene sobre las estructuras costeras, que de hecho son los únicos - capaces de afectarlas, pues cuando los ciclones tienen una incidencia - elevada en la zona de estudio es necesario considerar sus efectos des-- tructivos sobre la estructura a proyectar.

### 1.3.- SELECCION DE LA OLA DE DISEÑO.

La altura de la ola empleada en el diseño de estructuras coste-- ras (rompeolas), es la ola significativa ( $H_s$ ), que es un termino estadís-- tico que representa la altura de ola promedio del tercio mayor de todas las olas del registro.

Si se diseñaran estructuras rígidas, se usa la ola cuya altura - es el promedio del 1% de las olas más altas que se registraron ( $H_{1/100} = 1.67 H_s$ ), y se fuera una estructura semi-rígida se emplearía la ola de diseño igual al promedio del 10% de todas las olas más altas registra-- das ( $H_{1/10} \approx 1.27 H_s$ ).

Para el presente trabajo, la estructura a diseñar será de tipo--



flexible, por lo que se utilizará como altura de ola de diseño la ola -  
significante ( $H_{1/3} = H_s$ ), pues considera que cuando una piedra o elemento  
prefabricado de la coraza del rompeolas es movido por una ola de mayor  
altura que la de diseño, la acción sucesiva de las olas menores la rea-  
comodan.

Es importante para el oleaje, determinar el punto y la altura de  
las olas en rompiente, pues es un factor que influye en la planeación y  
diseño de la estructura que protege la costa, por lo que se selecciona-  
ra dependiendo de que la estructura a diseñar este sujeta al oleaje en  
rompiente ó lejos de ello..

## CAPITULO SEGUNDO

### - RECOPIACION DE DATOS -

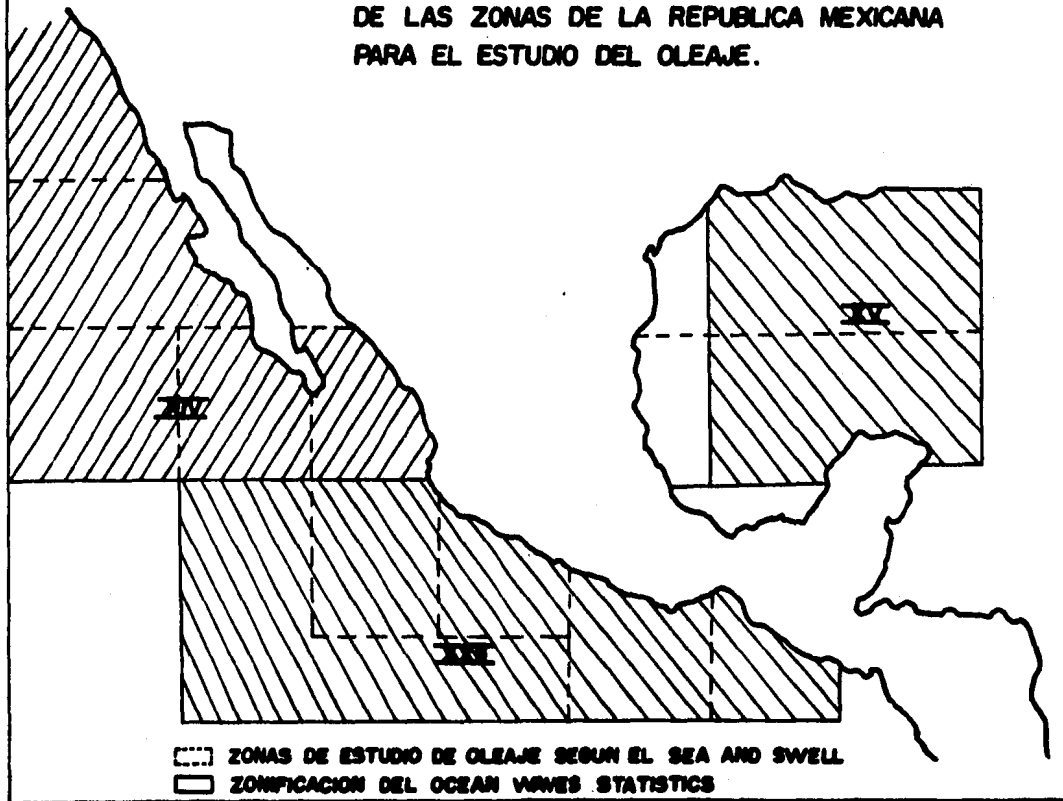
#### 2.1.- MEDICION DEL OLEAJE.

Al realizar un estudio del oleaje en el lugar de interes, su medición se puede lograr en forma directa ó indirecta.

La medición directa del oleaje resulta en la mayoría de los casos impracticos, pues el alto costo del equipo ó lo sofisticado del mismo, - hace inoperante esta acción; también el tiempo restringido que requiere la obra a proyectar puede ser otra causa.

En la medición indirecta existen instituciones que poseen estadísticas de largo tiempo del oleaje, las cuales son elaboradas por reportes de barcos en todo el mundo, como las cartas del " SEA AND SWELL " y del " OCEAN WAVES STATISTICS ". (ver fig. II.1).

FIGURA II.1: MAPA QUE MUESTRA LA DISTRIBUCION  
DE LAS ZONAS DE LA REPUBLICA MEXICANA  
PARA EL ESTUDIO DEL OLEAJE.



Para estadísticas de corto tiempo existen métodos de predicción - de oleaje, donde se parte de la premisa de que el oleaje generado por el viento es completamente irregular, esto es que se generan olas de muchas alturas y periodos, por lo que las características del oleaje no son --- constantes como lo consideran las teorías del oleaje.

## 2.2.- VARIACION DE LA ALTURA DEL OLAJE.

Lo complejo de la mecánica del oleaje y la necesidad de su estima ción han requerido de algunas idealizaciones, por lo que la variación de la altura del oleaje se ajustó a la función de probabilidad de Rayleigh, - donde se menciona que la probabilidad de que una ola "H" sea mayor que - cualquier ola arbitraria "Hc" y su expresión esta dada por:

$$P(H > H_c) = e^{-\left(\frac{H_c}{H_r}\right)^2} \dots\dots\dots ( 1 )$$

$$\text{donde; } H_r = \left( \frac{1}{N} \sum_j H_j^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots ( 2 )$$

$$\delta \quad H_s = 1.416 H_r \dots\dots\dots ( 3 )$$

que introduciendo el concepto clásico de probabilidad a la ecuación (1), -  
tenemos:

$$P(H > H_c) = \frac{n}{N} \dots\dots\dots (4) -$$

donde;

n - número de olas mayores que Hc.

N - número total de olas.

igualando las ecuaciones (1) y (4) e introduciendo logaritmos, queda; --

$$\frac{H_c}{H_r} = \sqrt{L\left(\frac{N}{n}\right)} \dots\dots\dots (5) -$$

la ecuación (5), nos representa una recta en papel logarítmico y se muestra en la fig. II.2: la recta "a" se estima de (Hc/Hr), que sea más --- grande que la indicada en la fig. la recta "b" estima el valor de (Hc/Hr) como promedio de cualquier fracción de "P", ejemplo:

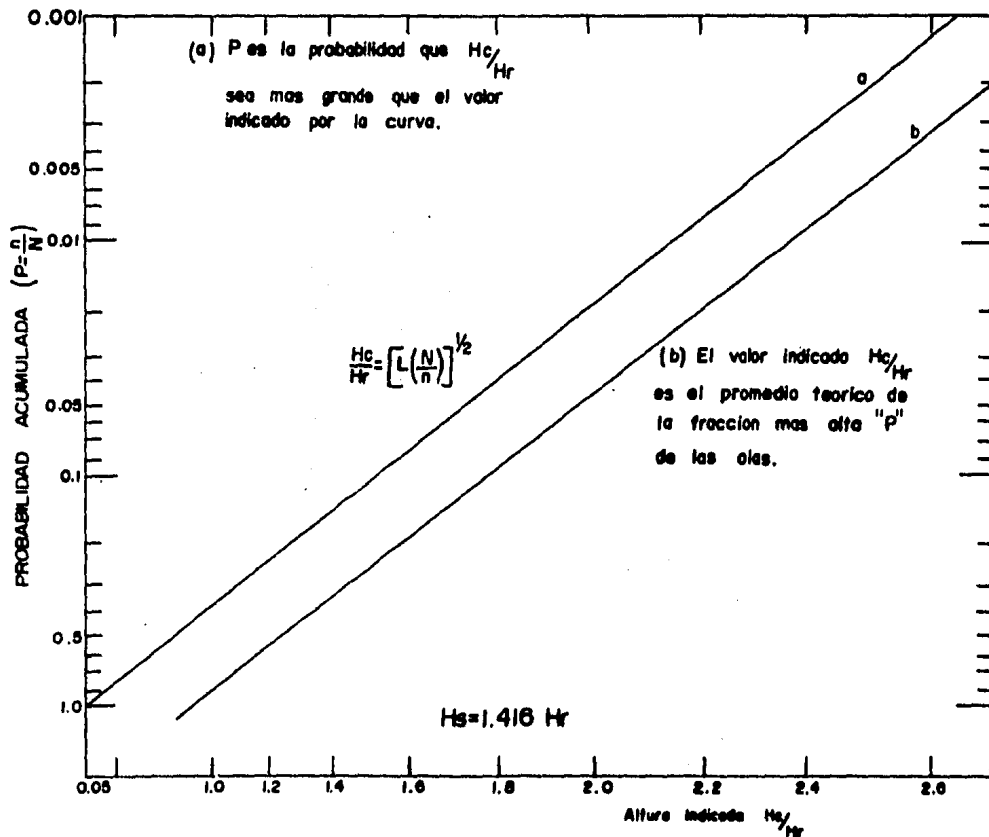
P= 1/10, 1/100, 1/1000, etc.

las olas probables también pueden estimarse por medio de las siguientes-  
ecuaciones:

$$H_n = H_r \left(L\frac{N}{n}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (6) -$$

$$H_1 = H_{m\grave{a}x} = H_r (L(N))^{1/2}$$

FIGURA II.2: DISTRIBUCION TEORICA DE LAS ALTURAS DE OLA.



enseguida se ilustra un ejemplo de la distribución de Rayleigh, para calcular la altura de ola significativa.

Los datos del oleaje normal se estimaron por medio de las cartas del SEA AND SWELL y se presentan en la tabla # 1.

DIRECCION ALTIMA (m)	W	NW	N	NE	E
0-1	10	7	7	2	8
1-2	1	8	14	9	5
2-3		3	9	6	2
3-4			4	2	1
4-5			1	1	
TOTAL	11	18	35	20	16

Tabla #1

Nota: para la simplificación del cálculo, solo se considera la dirección norte (N).

**SOLUCION:**

Para el cálculo de la ola significativa, necesitamos conocer el --  
tercio mayor de todas las olas por considerar, entonces;

$$N = 35$$

$$\therefore Q_s = N/3 = 35/3 = 11.67$$

ahora para la ola cuadratica tenemos la sumatoria de la columna 5 (tabla # 2):

$$H_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2} = \sqrt{\frac{158.75}{35}} = 2.13$$

$$\therefore H_r = 2.13 \text{ m}$$

para el cálculo de la ola significativa, la sumatoria está en la columna - 7 (tabla # 2), por lo tanto:

$$H_s = \frac{\sum Q_i \cdot H_i}{Q_s} = \frac{35.00}{11.67} = 3.01$$

$$\therefore H_s = 3.00 \text{ m}$$

si se requiere el cálculo de  $H_{1/10}$ ,  $H_{1/100}$  se repite la secuencia anterior y las sumatorias las tenemos en la columna 9 y 11 (tabla #2) respectivamente:

$$Q_{1/10} = \frac{N}{10} = \frac{35}{10} = 3.5 ; Q_{1/100} = \frac{N}{100} = \frac{35}{100} = 0.35$$

entonces:

$$H_{1/10} = \frac{\sum Q_i H_i}{Q_s} = \frac{13.25}{3.5} = 3.79 \quad \therefore H_{1/10} = 3.80 \text{ m}$$

$$H_{1/100} = \frac{\sum Q_i H_i}{Q_s} = \frac{1.575}{0.35} = 4.50 \quad \therefore H_{1/100} = 4.50 \text{ m}$$

y si fuera necesario conocer las alturas  $H_{10}$ ,  $H_{100}$  necesitamos calcular - el número total de olas del periodo por considerar, como sigue: -----



TABLA.(2)

PARA EL CALCULO DE LAS ALTURAS:  $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $H_{100}$

RANGO	FREC.	MARCA DE CLASE	$H_i^2$	$F \times H_i^2$	PARA $H_s$		PARA $H_{10}$		PARA $H_{100}$	
					$Q_s$	$Q_s H_i$	$Q_{10}$	$Q_{10} H_i$	$Q_{100}$	$Q_{100} H_i$
0-1	7	0.5	0.25	1.75						
1-2	14	1.5	2.25	31.50						
2-3	9	2.5	6.25	56.25	6.6	16.5				
3-4	4	3.5	12.25	49.00	4	14.0	2.5	8.75		
4-5	1	4.5	20.25	20.25	1	4.5	1.0	4.5	0.35	1.575
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>			<b>158.75</b>	<b>11.6</b>	<b>35.0</b>	<b>3.5</b>	<b>13.25</b>	<b>0.35</b>	<b>1.575</b>

①

②

③

④

⑤

⑥

⑦

⑧

⑨

⑩

⑪

$$N = \frac{\text{frecuencia } \% (F) \text{ (seg/año } \delta \text{ periodo considerado)}}{T \text{ (periodo)}}$$

y lo aplicamos en las ecuaciones (6) y (7).

Suponiendo  $N = 1000$  olas

con  $n = 10$ , tenemos:

$$H_{10} = 2.13 \left( L \frac{1000}{10} \right)^{1/2} = 4.57 \quad \therefore H_{10} = 4.60 \text{ m}$$

con  $n = 100$

$$H_{100} = 2.13 \left( L \frac{1000}{100} \right)^{1/2} = 3.23 \quad \therefore H_{100} = 3.25 \text{ m}$$

con  $n = 1$

$$H_1 = H_{\text{máx}}$$

$$H_{\text{máx}} = 2.13 \left( L (1000) \right)^{1/2} = 5.59 \quad \therefore H_{\text{máx}} = 5.60 \text{ m}$$

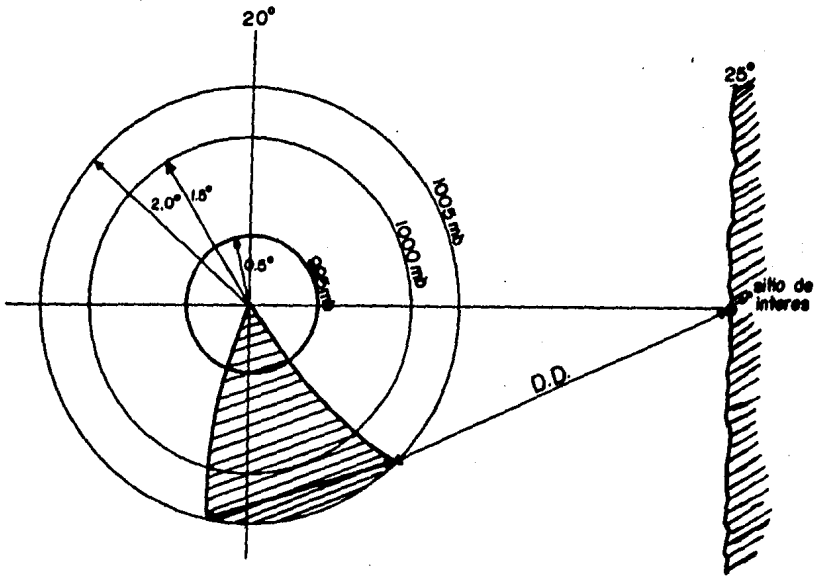
### 2.3.- OLAJE CICLONICO.

El problema de la predicción del oleaje extremal radica en el ---  
 hecho de poder considerar los efectos de energía remanente para las ----  
 diversas posiciones que ocupara el metéoro y que puedan generar-----

oleaje hacia el sitio en estudio.

Existen varios métodos para la predicción del oleaje ciclónico, y uno de los más utilizados es el método S.M.B. (Sverdrup, Munk y Bretschneider), que es el que se muestra en este trabajo.

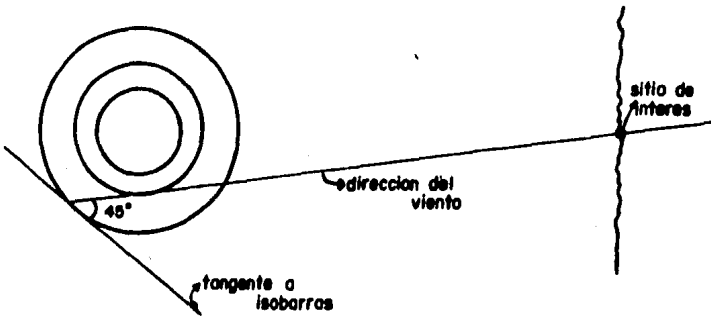
Enseguida se muestra un diagrama de isobáras de un huracán idealizado con una duración de 12 hrs., y se requiere conocer las características del oleaje extremal en el sitio de interés, usando el método S.M.B.

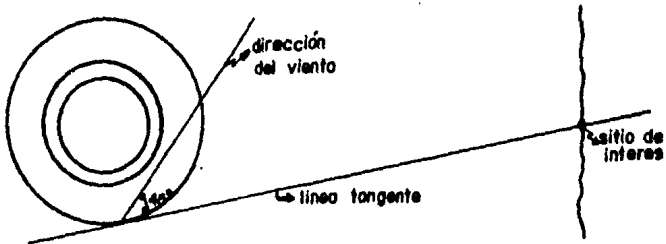


**SOLUCION:**

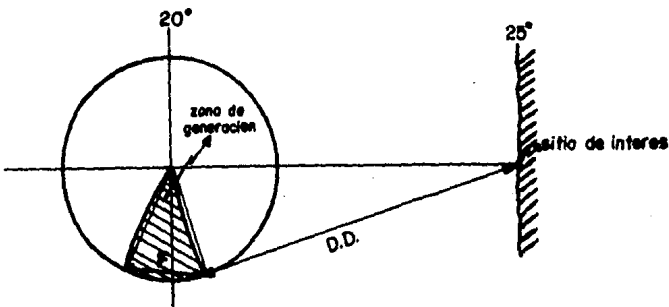
Para conocer el posible oleaje que se presenta en una zona, se --  
necesita determinar el área de generación ó fetch, velocidad del viento-  
y su duración:

- Cálculo del Fetch; para ello se considera que el viento real --  
forma un ángulo de  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  con la dirección del viento estimado. Por --  
otra parte se ha observado que las olas se mueven en ángulos de  $15^{\circ}$  a  $45^{\circ}$   
con respecto a la dirección de las isobaras, por lo anterior las ondas -  
se desplazan hacia ambos lados de las isobaras a  $45^{\circ}$  (por ser curvas las  
isobaras) y así se determina el Fetch; para ello se utilizan las isoba--  
ras cercanas al sitio de interes y se traza una tangente que forme un --  
ángulo de  $45^{\circ}$  con ellas y que el punto de estudio este contenido en uno -  
de los lados del ángulo.





Los puntos de tangencia de las isobaras se unen con un segmento de recta, determinandose la zona de generación. Del polígono que resulta se elige el vertice más distante al sitio en estudio y trazando una recta entre ellos se obtiene el Fetch y la longitud de la zona de decaimiento, que es la distancia entre el limite de la zona de generación y el sitio en estudio.



con lo anterior y los esquemas a escala obtenemos el valor del Fetch y - de la distancia de decaimiento:

$$F = 1.55^{\circ} = 93 \text{ m.n. (millas náuticas)}$$

$$D.D. = 6.20^{\circ} = 372 \text{ m.n.}$$

- Cálculo de la velocidad del viento.- para determinar dicha velocidad se utiliza el equilibrio entre cuatro fuerzas; la de presión, de Coriolis, la centrípeta y de fricción. Si las isóbaras son rectas y la fuerza de fricción no es importante. El viento que cumple con estas condiciones se llama geostrófico y esta definido por:

$$V_g = \frac{1}{2 \rho \sin \phi \Omega} \frac{\Delta p}{\Delta n} \dots\dots\dots (8)$$

conociendo el valor de  $V_g$ , se afecta por dos parámetros para obtener la velocidad del viento.

- i) Factor de ajuste por curvatura en las isobáras = 1
- ii) Factor de ajuste por diferencia de temperatura del mar y el aire (ver fig. II.4).

Para la ecuación (8) tenemos valores conocidos y se aplican para

toda la República Mexicana, que si sustituimos dichas constantes nos --  
 queda:

$$V_g = \frac{9.72}{\text{sen } \phi} \frac{\Delta p}{\Delta n} \dots\dots\dots (8')$$

en donde:

$\Delta p$ - espaciamento isobárico

$\Delta n$ - distanciamiento entre las isobáras que definen p

$\phi$ - latitud que corresponde al centro de gravedad de la zona de  
 generación.

sustituyendo en la ecuación (8') los valores que nos proporciona la ---  
 ilustración del huracan (pag. 14), tenemos;

$$V_g = \frac{9.72}{\text{sen } 20^\circ} \frac{(1005^2 - 995^2)}{1.5^\circ} = 189.46$$

$$\therefore \underline{V_g = 189.50 \text{ nudos}}$$

también se puede utilizar la fig. II.3 para el cálculo de  $V_g$ , y nos da-  
 ría un valor aproximado al anterior. Despues se calcula la velocidad -  
 del viento (u), considerando una diferencia de temperatura de  $T = - 5$  y  
 así continuar con la aplicación del método de predicción; para la valo-  
 rización de la siguiente relación (u/ $V_g$ ), nos auxiliamos con -----

$$V_g = \frac{1}{2 \rho_0 \omega \sin \phi} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

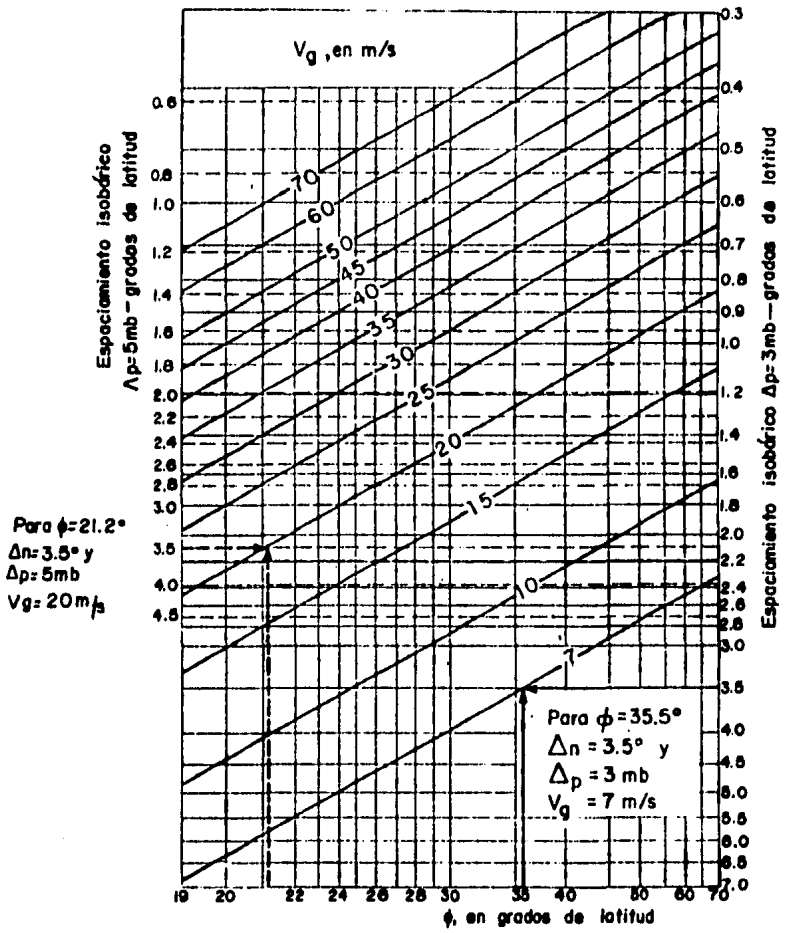


FIGURA II.3.- VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO.



la fig. II.4; obtenemos:

$$\frac{u}{V_g} = 0.51$$

despejando la velocidad del viento superficial:

$$u = 0.51 (V_g) = 0.51 (189.5) = 96.62$$

$$\therefore \underline{u = 96.6 \text{ nudos}}$$

para el cálculo de la altura y periodo significante, es con la fig. II.5, pero como tenemos tres valores se nos presentan dos casos:

CASO (a)

$$u = 96.6 \text{ nudos}$$

$$F = 93 \text{ m.n.}$$

CASO (b)

$$u = 96.6 \text{ nudos}$$

$$D = 12 \text{ hrs.}$$

con estos valores y la fig. II.5, obtenemos los siguientes datos:

$$H = 44 \text{ ft}$$

$$T = 14.6 \text{ s.}$$

$$D = 5 \text{ hrs}$$

$$H = 60 \text{ ft}$$

$$T = 16 \text{ s.}$$

$$F = 290 \text{ m.n.}$$

los valores del caso "a" son los que se apegan más a las características del problema, por lo que son los considerados; los valores anteriores corresponden a la zona de generación en aguas profundas y los valores que

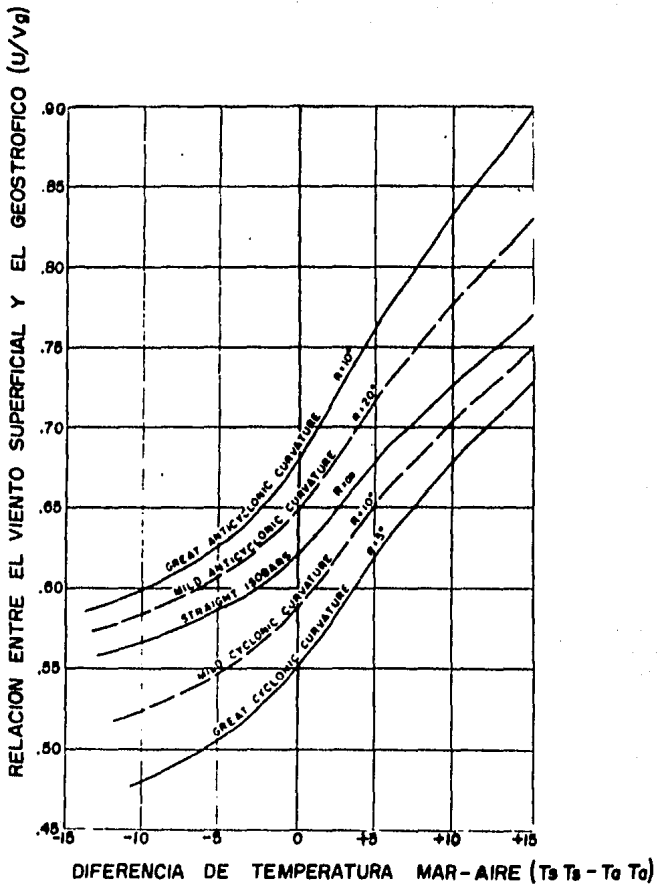


FIGURA II.4.-ESCALA DEL VIENTO SUPERFICIAL.

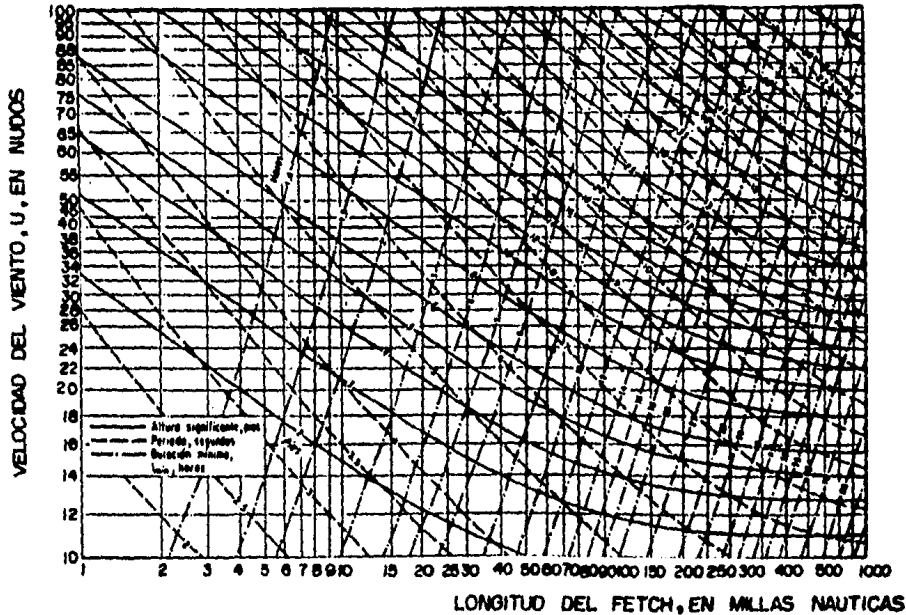


FIGURA II.5: CURVAS DE PREDICCIÓN DE OLEAJE ( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ) AL FINAL DE LA ZONA DE GENERACION EN AGUAS PROFUNDAS, EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO, LONGITUD DEL FETCH Y DURACION DEL VIENTO PARA FETCHES DE 1 A 1000 MILLAS.

nos interesan, son los que tendrá el oleaje en el sitio de interes, por lo que utilizaremos la fig. II.6.

Con los valores de H, T, y DD, los graficamos en las curvas de - decaimiento y obtendremos la altura y periodo que tendrá en el sitio en estudio, el oleaje.

$$T_D/T_F = 1.411 \quad ; \quad H_D/H_F = 0.467$$

despejando la altura y periodo del lugar en estudio:

$$T_D = 1.411 (T_F) = 1.411 (14.6) = 20.6 \text{ seg.}$$

$$H_D = 0.467 (H_F) = 0.467 (44) = 20.55 \text{ ft.}$$

entonces, se concluye que la altura de ola y su periodo que llegará ó - afectara al sitio de interes, son:

$$H = 6.30 \text{ m.}$$

$$T = 21 \text{ seg.}$$

#### 2.4.- OLAJE ROMPIENTE.

Una onda progresiva en su recorrido hacia la costa, empieza a ser

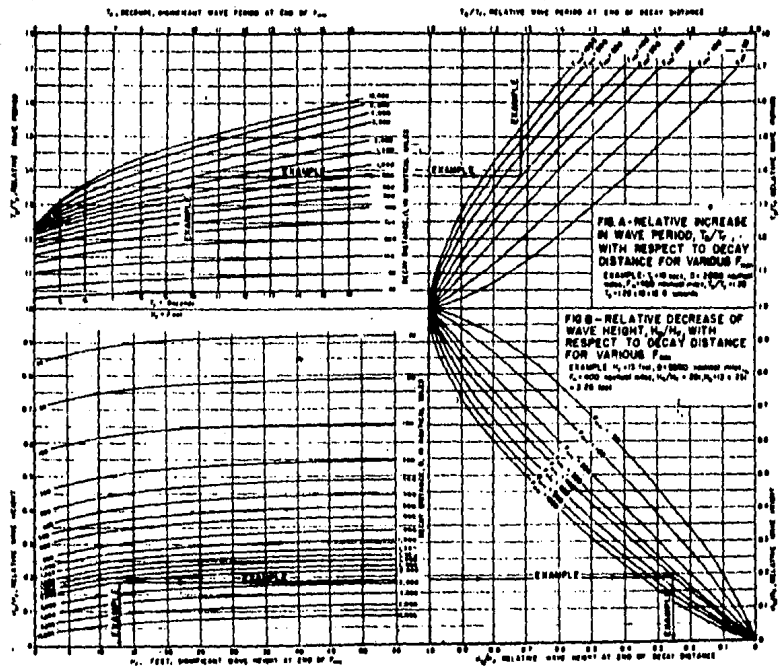


FIGURA II.6: CURVAS DE DECAIMIENTO.

modificada por la presencia del fondo, pudiendose hacerse inestable y --romper, según las características iniciales y de la rapidez del cambio -- que sufre por la presencia de la pendiente de la playa en dirección del avance de la onda.

En el diseño de una estructura como rompeolas, escolleras, muros, etc., es necesario conocer si estaran sujetas a la acción de las --olas en rompiente ó lejos de está situación.

En el siguiente ejemplo calcularemos si la estructura que se va a diseñar está en zona de oleaje rompiente ó no según los datos proporcionados (ver fig. IV.1):

En aguas profundas ( $d=10m$ ), el oleaje tiene las siguientes características,  $H= 3 m$ ,  $T = 10$  seg, la pendiente de la playa es de  $S=0.007$  y las crestas del oleaje son paralelas a las líneas batimétricas ( $Kr=1.0$ ); obtener la altura y profundidad del oleaje en rompiente.

Solución:

- Longitud de onda en aguas profundas -

$$L_o = 1.56 T^2 = 1.56 (10)^2 = 156 m$$

- Profundidad relativa -

$$d/L_o = 10/156 = 0.064$$

TABLA#3-VALORES DE LAS FUNCIONES DE  $d/L_0$

$d/L_0$	$d/L$	$2d/L$	TANH $2d/L$	SINH $2d/L$	COSE $2d/L$	M/N	K	$1/d/L$	SEMI $1/d/L$	COSE $1/d/L$	K	$d/L_0$	M
0.0000	0.0135	0.0270	0.0270	0.0540	1.0000	1.0000	0.0135	0.0270	1.0000	0.0270	0.0135	0.0135	27.0
0.0100	0.0270	0.0540	0.0540	0.1080	1.0000	1.0000	0.0270	0.0540	1.0000	0.0540	0.0270	0.0270	27.1
0.0200	0.0540	0.1080	0.1080	0.2160	1.0000	1.0000	0.0540	0.1080	1.0000	0.1080	0.0540	0.0540	27.2
0.0300	0.0810	0.1620	0.1620	0.3240	1.0000	1.0000	0.0810	0.1620	1.0000	0.1620	0.0810	0.0810	27.3
0.0400	0.1080	0.2160	0.2160	0.4320	1.0000	1.0000	0.1080	0.2160	1.0000	0.2160	0.1080	0.1080	27.4
0.0500	0.1350	0.2700	0.2700	0.5400	1.0000	1.0000	0.1350	0.2700	1.0000	0.2700	0.1350	0.1350	27.5
0.0600	0.1620	0.3240	0.3240	0.6480	1.0000	1.0000	0.1620	0.3240	1.0000	0.3240	0.1620	0.1620	27.6
0.0700	0.1890	0.3780	0.3780	0.7560	1.0000	1.0000	0.1890	0.3780	1.0000	0.3780	0.1890	0.1890	27.7
0.0800	0.2160	0.4320	0.4320	0.8640	1.0000	1.0000	0.2160	0.4320	1.0000	0.4320	0.2160	0.2160	27.8
0.0900	0.2430	0.4860	0.4860	0.9720	1.0000	1.0000	0.2430	0.4860	1.0000	0.4860	0.2430	0.2430	27.9
0.1000	0.2700	0.5400	0.5400	1.0800	1.0000	1.0000	0.2700	0.5400	1.0000	0.5400	0.2700	0.2700	28.0
0.1100	0.2970	0.5940	0.5940	1.1880	1.0000	1.0000	0.2970	0.5940	1.0000	0.5940	0.2970	0.2970	28.1
0.1200	0.3240	0.6480	0.6480	1.2960	1.0000	1.0000	0.3240	0.6480	1.0000	0.6480	0.3240	0.3240	28.2
0.1300	0.3510	0.7020	0.7020	1.4040	1.0000	1.0000	0.3510	0.7020	1.0000	0.7020	0.3510	0.3510	28.3
0.1400	0.3780	0.7560	0.7560	1.5120	1.0000	1.0000	0.3780	0.7560	1.0000	0.7560	0.3780	0.3780	28.4
0.1500	0.4050	0.8100	0.8100	1.6200	1.0000	1.0000	0.4050	0.8100	1.0000	0.8100	0.4050	0.4050	28.5
0.1600	0.4320	0.8640	0.8640	1.7280	1.0000	1.0000	0.4320	0.8640	1.0000	0.8640	0.4320	0.4320	28.6
0.1700	0.4590	0.9180	0.9180	1.8360	1.0000	1.0000	0.4590	0.9180	1.0000	0.9180	0.4590	0.4590	28.7
0.1800	0.4860	0.9720	0.9720	1.9440	1.0000	1.0000	0.4860	0.9720	1.0000	0.9720	0.4860	0.4860	28.8
0.1900	0.5130	1.0260	1.0260	2.0520	1.0000	1.0000	0.5130	1.0260	1.0000	1.0260	0.5130	0.5130	28.9
0.2000	0.5400	1.0800	1.0800	2.1600	1.0000	1.0000	0.5400	1.0800	1.0000	1.0800	0.5400	0.5400	29.0
0.2100	0.5670	1.1340	1.1340	2.2680	1.0000	1.0000	0.5670	1.1340	1.0000	1.1340	0.5670	0.5670	29.1
0.2200	0.5940	1.1880	1.1880	2.3760	1.0000	1.0000	0.5940	1.1880	1.0000	1.1880	0.5940	0.5940	29.2
0.2300	0.6210	1.2420	1.2420	2.4840	1.0000	1.0000	0.6210	1.2420	1.0000	1.2420	0.6210	0.6210	29.3
0.2400	0.6480	1.2960	1.2960	2.5920	1.0000	1.0000	0.6480	1.2960	1.0000	1.2960	0.6480	0.6480	29.4
0.2500	0.6750	1.3500	1.3500	2.7000	1.0000	1.0000	0.6750	1.3500	1.0000	1.3500	0.6750	0.6750	29.5
0.2600	0.7020	1.4040	1.4040	2.8080	1.0000	1.0000	0.7020	1.4040	1.0000	1.4040	0.7020	0.7020	29.6
0.2700	0.7290	1.4580	1.4580	2.9160	1.0000	1.0000	0.7290	1.4580	1.0000	1.4580	0.7290	0.7290	29.7
0.2800	0.7560	1.5120	1.5120	3.0240	1.0000	1.0000	0.7560	1.5120	1.0000	1.5120	0.7560	0.7560	29.8
0.2900	0.7830	1.5660	1.5660	3.1320	1.0000	1.0000	0.7830	1.5660	1.0000	1.5660	0.7830	0.7830	29.9
0.3000	0.8100	1.6200	1.6200	3.2400	1.0000	1.0000	0.8100	1.6200	1.0000	1.6200	0.8100	0.8100	30.0

localizando el valor anterior en la tabla # 3 (columna 1), obtenemos la - altura de ola en aguas profundas.

$$H/H_o' = 0.9837 \text{ (columna 7)}$$

despejando  $H_o'$ :

$$H_o' = H/0.9837 = 3.0/0.9837 = 3.05$$

$$\therefore \underline{H_o' = 3.05 \text{ m}}$$

- Altura de ola en rompiente -

$$H_o'/L_o = 3.05/156 = 0.0196$$

con la fig. II.7 y  $S = 0.007$ , obtenemos;

$$H_r/H_o' = 1.2$$

despejando  $H_r$ :

$$H_r = 1.2 (H_o') = 1.2 (3.05) = 3.66$$

$$\therefore \underline{H_r = 3.70 \text{ m}}$$

- Profundidad en rompiente -

con los valores anteriores y la fig. II.8 obtenemos la siguiente relación:

$$d_r/H_o' = 1.5$$

despejando  $d_r$ :

$$d_r = 1.5 (H_o') = 1.5 (3.05) = 4.58$$



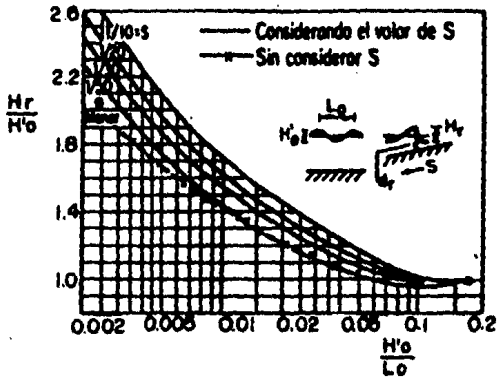


FIGURA II.7.-ALTURA DE LA OLA ROMPIENTE, SEGUN GODA (1970).

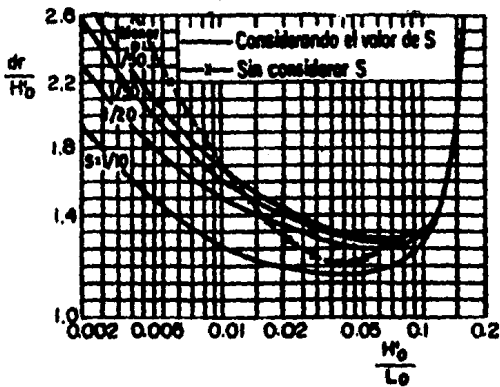


FIGURA II.8.-PROFUNDIDAD EN LA ROMPIENTE, SEGUN GODA (1970).

$$\therefore \underline{d_r = 4.60 \text{ m}}$$

pero como no hay una zona exacta para que la ola rompa, es necesario definir un lugar en rompiente, como sigue:

$$Hr/gT^2 = 3.66/9.81 (10)^2 = 0.00373$$

y

$$s = 0.007 ,$$

si graficamos los valores anteriores obtenemos el valor máximo y mínimo de la profundidad en rompiente afectados por los parámetros siguientes. (fig. II.9)

$$\alpha = 1.51$$

$$\beta = 1.25$$

entonces:

$$d_r (\text{máx}) = \alpha Hr = 1.51 (3.70) = 5.59$$

$$d_r (\text{mín.}) = \beta Hr = 1.25 (3.70) = 4.63$$

por lo tanto:

$$d_r (\text{máx}) = 5.60 \text{ m.}$$

$$d_r (\text{mín}) = 4.65 \text{ m.}$$

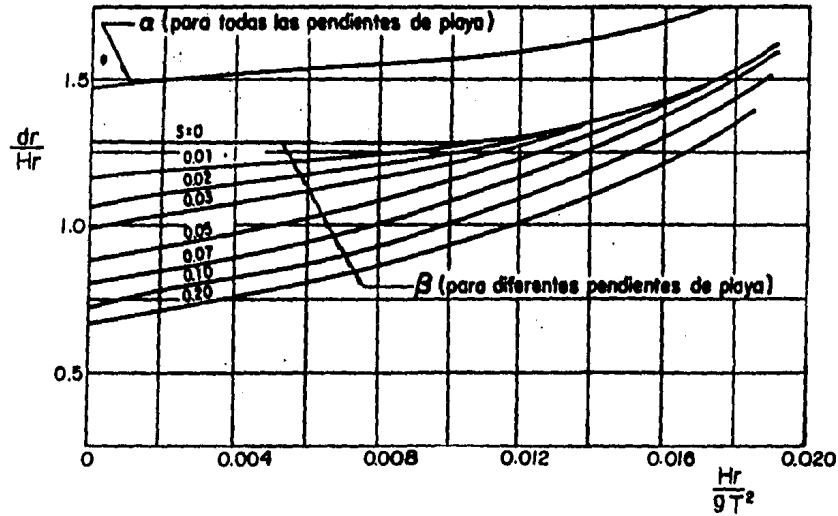
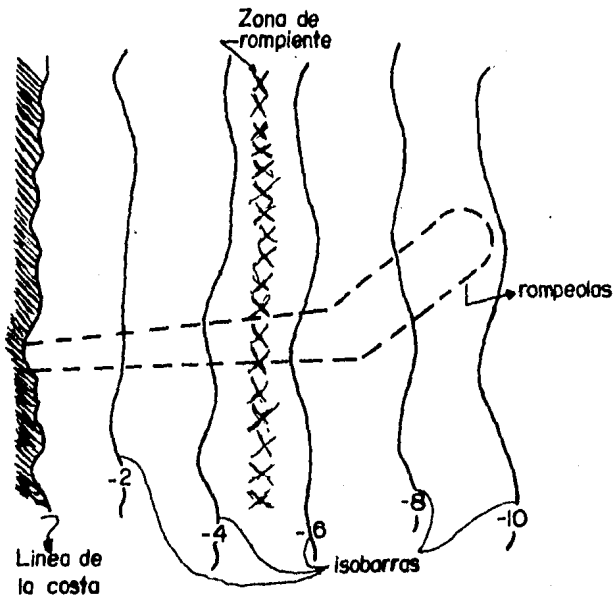


FIGURA II.9.- PROFUNDIDAD EN LA ROMPIENTE, VALOR MAXIMO Y MINIMO.

con los datos anteriores podemos decidir que el rompeolas a diseñar --- (ver fig. IV.1), tendrá que tomar en cuenta al oleaje en rompiente, --- pues la estructura se desplanta hasta una profundidad de -10 m, como lo podemos observar en la siguiente ilustración, y por seguridad todos los parámetros que se apliquen para su diseño serán los correspondientes para oleaje en rompiente.



## 2.5.- ALTURA DE OLA EN LA ESTRUCTURA.

En este punto, para el cálculo de la altura de ola, se supone que ya existe el rompeolas y no como en los anteriores ejemplos, donde solo conocían las características del lugar; también se seleccionan aleatoriamente profundidades para analizar varios puntos del rompeolas.

En este ejemplo se utilizan los datos del oleaje extremal ----- (H = 6.30 m, T = 21 seg), pues es el que rige el diseño de la estructura y la pendiente de playa (S = 0.007).

### - CORTE A-A -

la profundidad para este punto es:  $d = 1.0$  m

$$\therefore ds/gT^2 = 1.0/981 (21)^2 = 0.00023$$

y  $S = 0.007$ , graficando estos datos en la fig. II.10, obtenemos:

$$H_b/ds = 0.84$$

despejando  $H_b$ :  $H_b = 0.84 (1.0) = 0.84$

comparandola con la altura de ola ciclonica, se concluye que la altura predominante para este punto es:

$$H = 0.84 \text{ m}$$

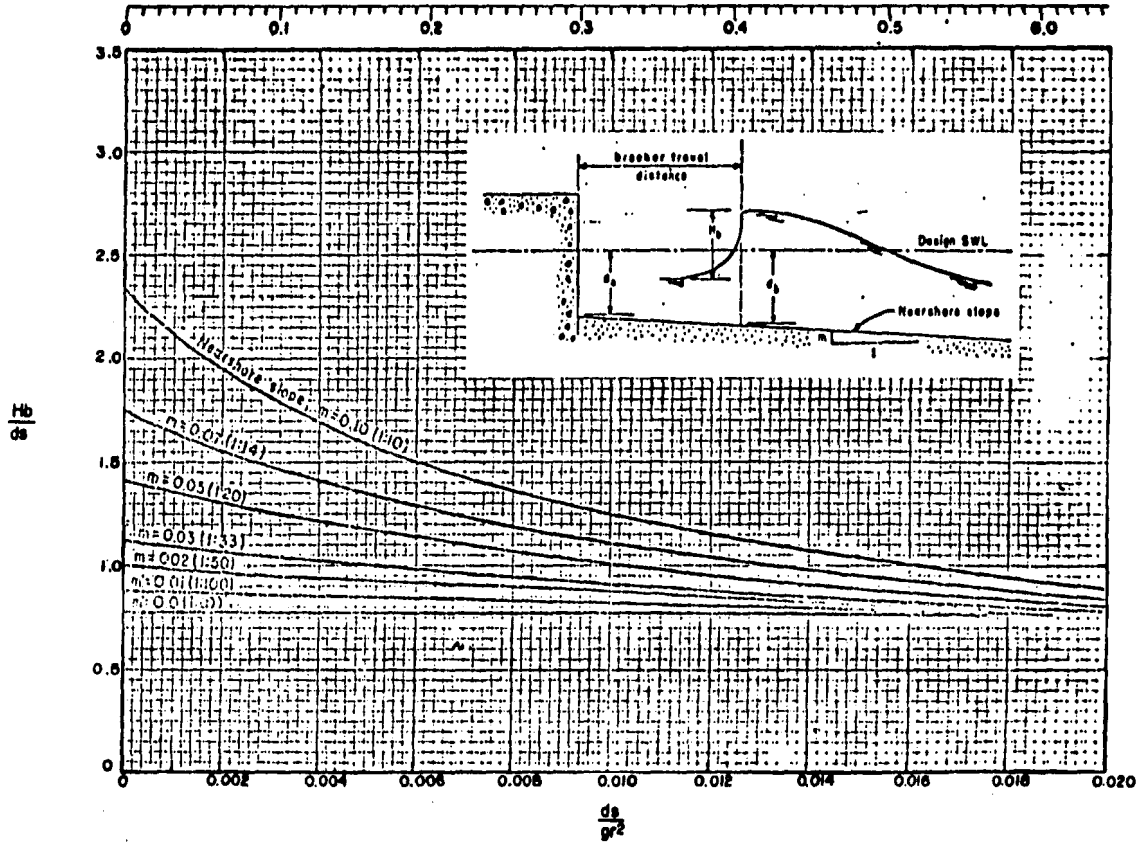


FIGURA II.10-DISEÑO DE LA ALTURA ROMPIENTE SOBRE LA PROFUNDIDAD RELATIVA DE LA ESTRUCTURA.

$$\therefore \underline{H = 0.84 \text{ m}}$$

- CORTE B-B -

$$\frac{d_s}{gT^2} = \frac{4.0}{4326.2} = 0.0009$$

donde:

$$H_b/d_s = 0.84$$

$$\therefore \underline{H = 3.40 \text{ m}}$$

- CORTE C-C -

$$\frac{d_s}{gT^2} = \frac{7.5}{4326.2} = 0.0017$$

de la fig. II.10:

$$H_b = 0.82$$

$$\therefore \underline{H = 6.15 \text{ m}}$$

- CORTE D-D -

$$\frac{d_s}{gT^2} = \frac{9.5}{4326.2} = 0.0022$$

entonces:

$$H_b/d_s = 0.80$$

despejando la altura:

$$H_b = 0.80 (9.5) = 7.60$$

para esta profundidad regirá el oleaje ciclónico, pues la altura de ola obtenida es mayor.

$$\therefore H = \underline{6.30 \text{ m}}$$

## 2.6.- ALCANCE VERTICAL DE LA OLA.

Cuando las olas llegan a la costa o a una estructura, tienden a subir por su talud y se define como alcance vertical de la ola y es la máxima distancia medida verticalmente sobre el nivel estático del agua (NMM), que alcanza al llegar contra una playa o estructura (ver fig. II).

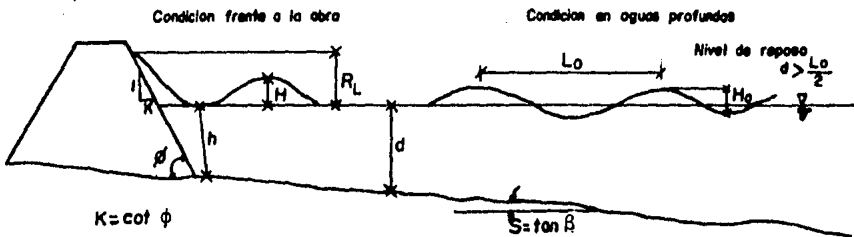


FIGURA II.II.- DEFINICION DE LOS TERMINOS UTILIZADOS EN EL ALCANCE DE LA OLA.



En el diseño es importante calcular el alcance de la ola sobre la estructura, ya que permite obtener la elevación mínima de la corona del rompeolas, que evite el paso del agua sobre la estructura o bien, si se escoge una elevación de la corona, permite conocer la altura de ola máxima que no alcanza pasar sobre la estructura.

El alcance de la ola depende de las siguientes características, las cuales siempre se deben tener en cuenta:

- ALTURA DE OLA FRENTE A LA ESTRUCTURA.
- LONGITUD DE LA OLA.
- PERIODO.
- PROFUNDIDAD FRENTE A LA OBRA.
- TALUD DE LA PARED.
- TIPO DE MATERIAL.
- ACABADO DE LA SUPERFICIE DE LA OBRA.
- PENDIENTE DE LA PLAYA.

Además para tomar en cuenta el efecto ocasionado por diferentes tipos de superficie y su porosidad, en el valor del alcance de la ola se propuso un factor de corrección ( $r$ ), el cual depende del material y acabado del talud de la obra y se obtiene como sigue:

$$r = \frac{R/H_o \text{ (talud rugoso)}}{R/H_o \text{ (talud liso)}} \dots\dots\dots ( 9 )$$

que es consecuencia del desplazamiento en sentido ascendente y descendente de la masa del oleaje que provoca una transferencia de energía en el rompeolas, por lo que el máximo alcance de la ola (Run-up), se reduce:

$$\text{Para taludes lisos } \left( \frac{R}{H_o} \right) = 3.1$$

$$\text{Para taludes rugosos } \left( \frac{R}{H_o} \right) = 1.5$$

sustituyendo estos valores en la expresión (9), queda:

$$r = 1.5/3.1 = 0.4838$$

$$\underline{r = 0.48}$$

Enseguida se ilustra un ejemplo con estos datos:

H = 3.0 m, T = 10 seg., medidos a una profundidad d = 10 m; las profundidades de diseño de la estructura son: 9.5 m, 7.5 m, 4.0 m, 1.0 m, y los taludes son de 2:1 en el morro y 1.5:1 en el cuerpo del rompeolas (ver fig. IV.1); obtener su alcance vertical de la ola: -----

Solución:

Anteriormente se calcularon unas relaciones que nos son útiles - para conocer el alcance de la ola.

$$d/L_0 = 0.064$$

$$H/H_0 = 0.9837$$

$$H_0 = 3.05 \text{ m}$$

$$T = 10 \text{ seg}$$

para conocer el valor de la siguiente relación solo sustituimos los datos conocidos, y lo obtenemos.

$$H_0 / gT^2 = 3.05/9.81 (100) = 0.0031$$

con el valor de la relación  $(ds/H_0)$ , según la profundidad de diseño, -- consultamos las figuras II.12, ..., II.16, y calculamos el alcance vertical de la ola como se muestra en la tabla # 5; las formulas para calcular el alcance vertical son:

$$R = K R_L \quad (K - \text{factor por escala})(\text{fig. II.17})$$

$R_r =$  alcance vertical real de la ola, en m.

$$R_r = r (R)$$

TABLA# 5- PARA EL CALCULO DE LA SOBREELEVACION  
DEL OLEAJE (RUN UP).

H(m)	d	$d/H_0$	$\cot-\theta$	$H_0/gT^2$	$R_L/H_0$	$R_L$	k	R	r	Rr
6.30	9.5	3.1147	2.0	0.0031	2.20	6.71	1.19	7.98	0.48	3.83
6.15	7.5	2.142	1.5	0.0031	2.80	8.54	1.206	10.30	0.48	4.94
3.36	4.0	1.3114	1.5	0.0031	3.50	10.67	1.206	12.86	0.48	6.17
0.84	1.0	0.327	1.5	0.0031	2.50	7.63	1.206	9.20	0.48	4.42

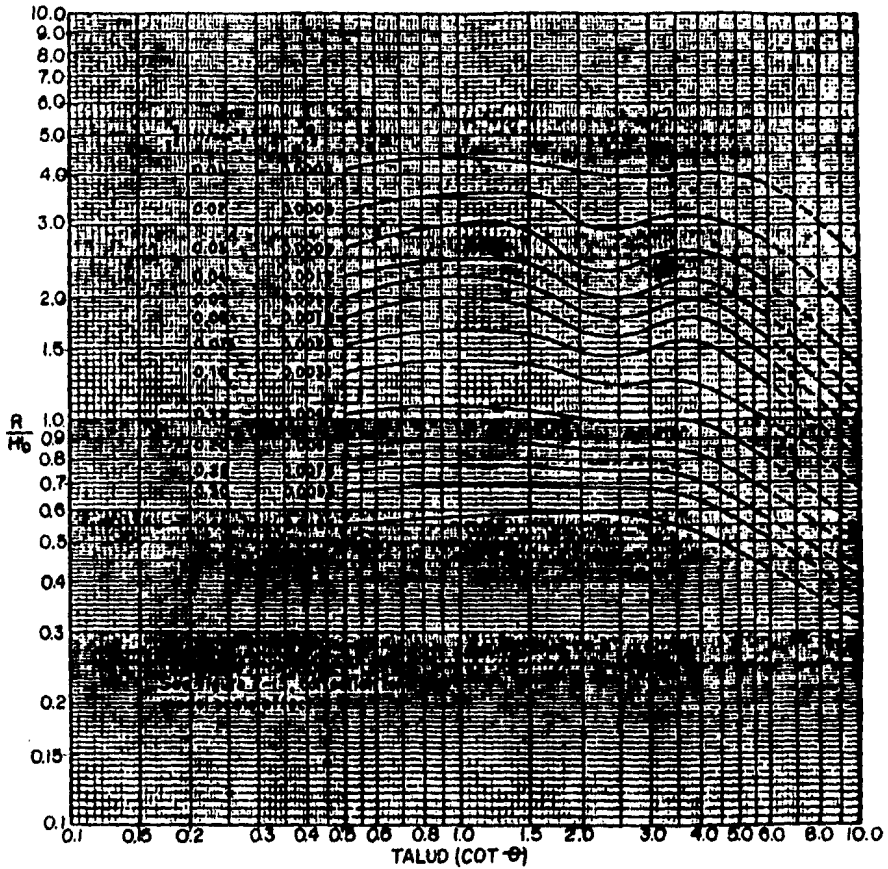


FIGURA II.12: SOBREELEVACION DEL OLEAJE EN TALUDES LISOS E IMPERMEABLES PARA VALORES DE  $\frac{d_s}{H_0} = 0$  (PARA ESTRUCTURAS CON TALUD 1:10).

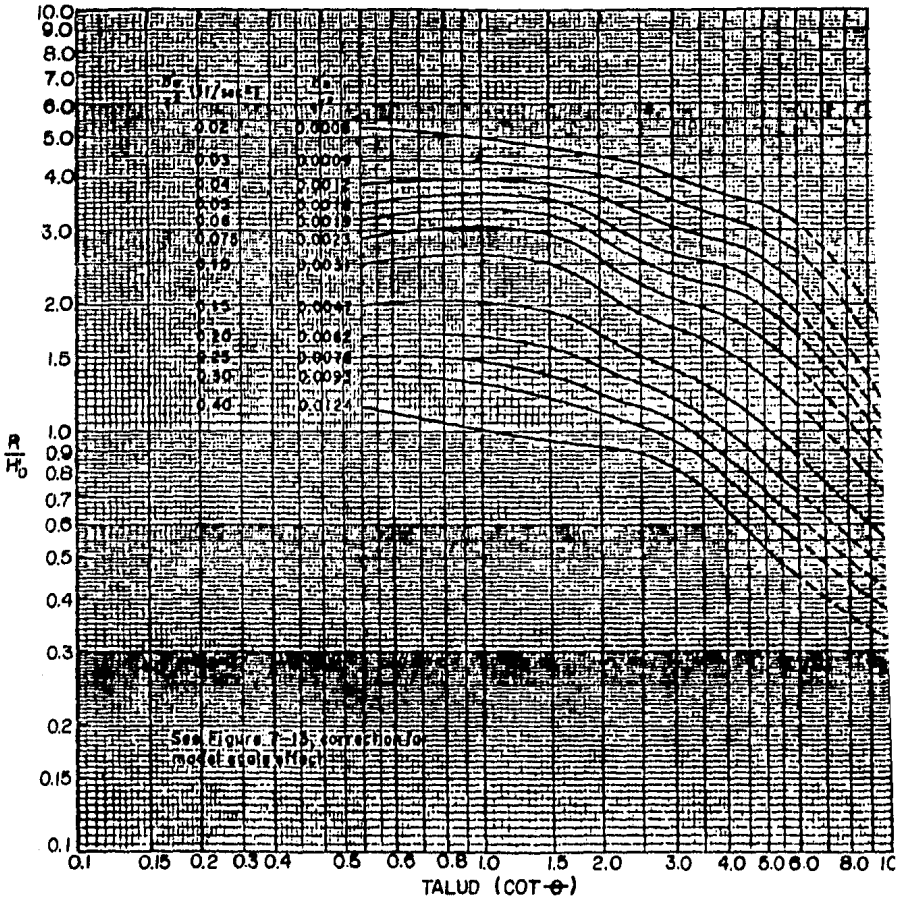


FIGURA II.13- SOBREELEVACION DEL OLAJE EN TALUDES LISOS E IMPERMEABLES PARA VALORES DE

$$\frac{ds}{H_0} \approx 0.45.$$

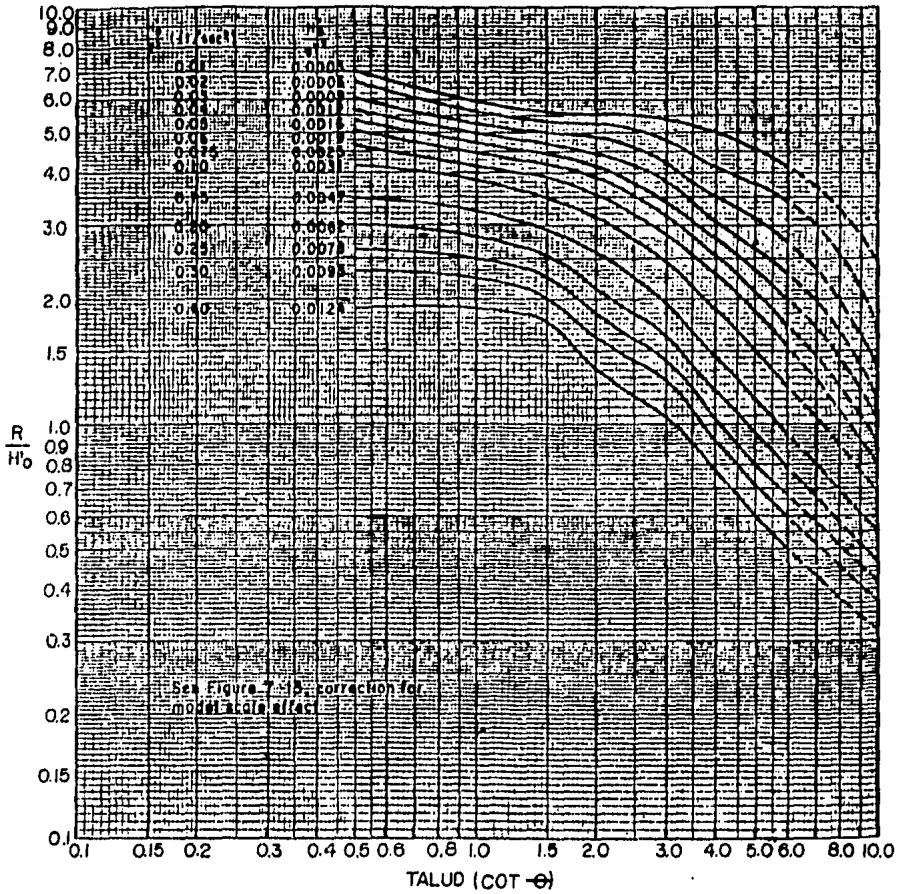


FIGURA II.14: SOBREELEVACION DEL OLAJE EN TALUDES LISOS E IMPERMEABLES PARA VALORES DE

$$\frac{ds}{H_0} \approx 0.80.$$

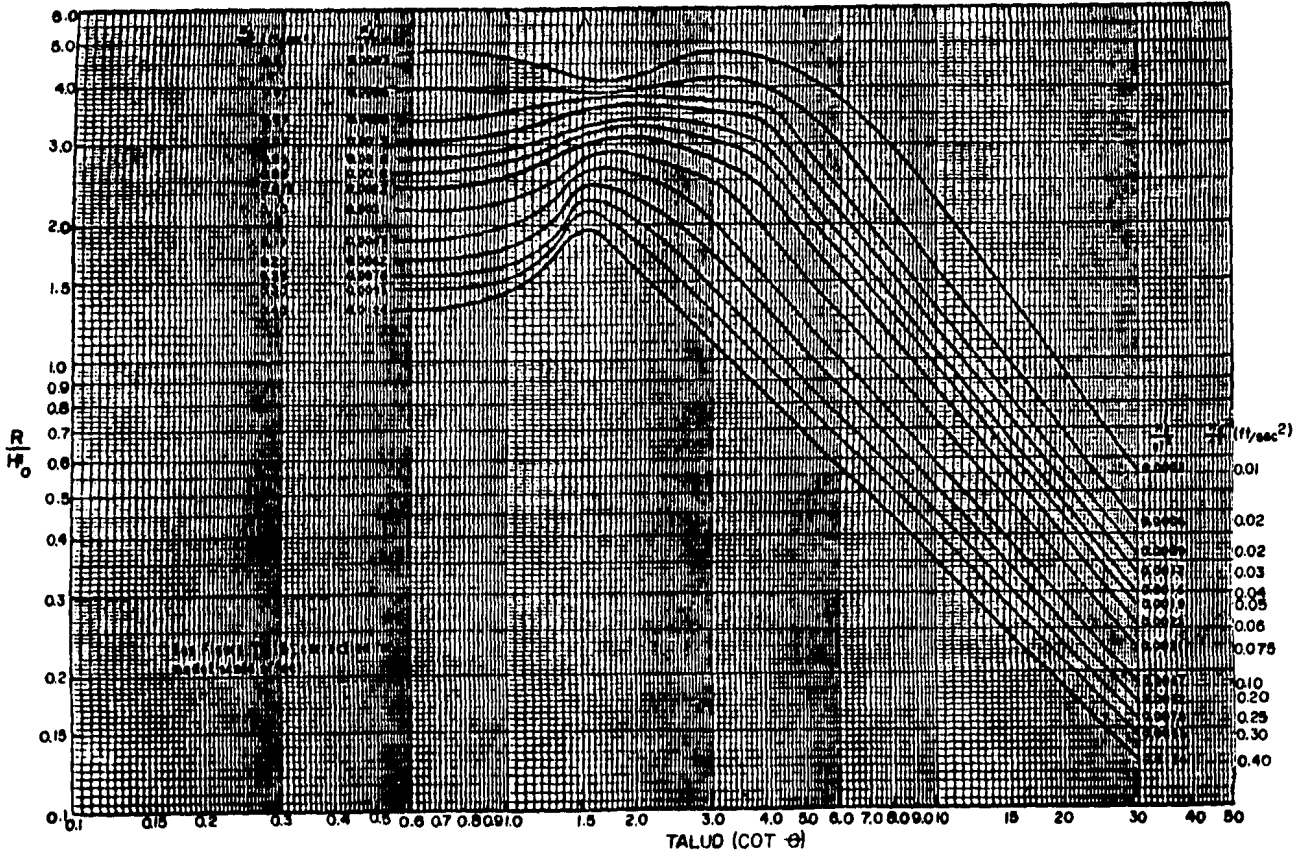


FIGURA II.15-SOBREELEVACION DEL OLEAJE EN TALUDES LISOS E IMPERMEABLES PARA VALORES DE

$$\frac{g}{H_0} \approx 2.0.$$



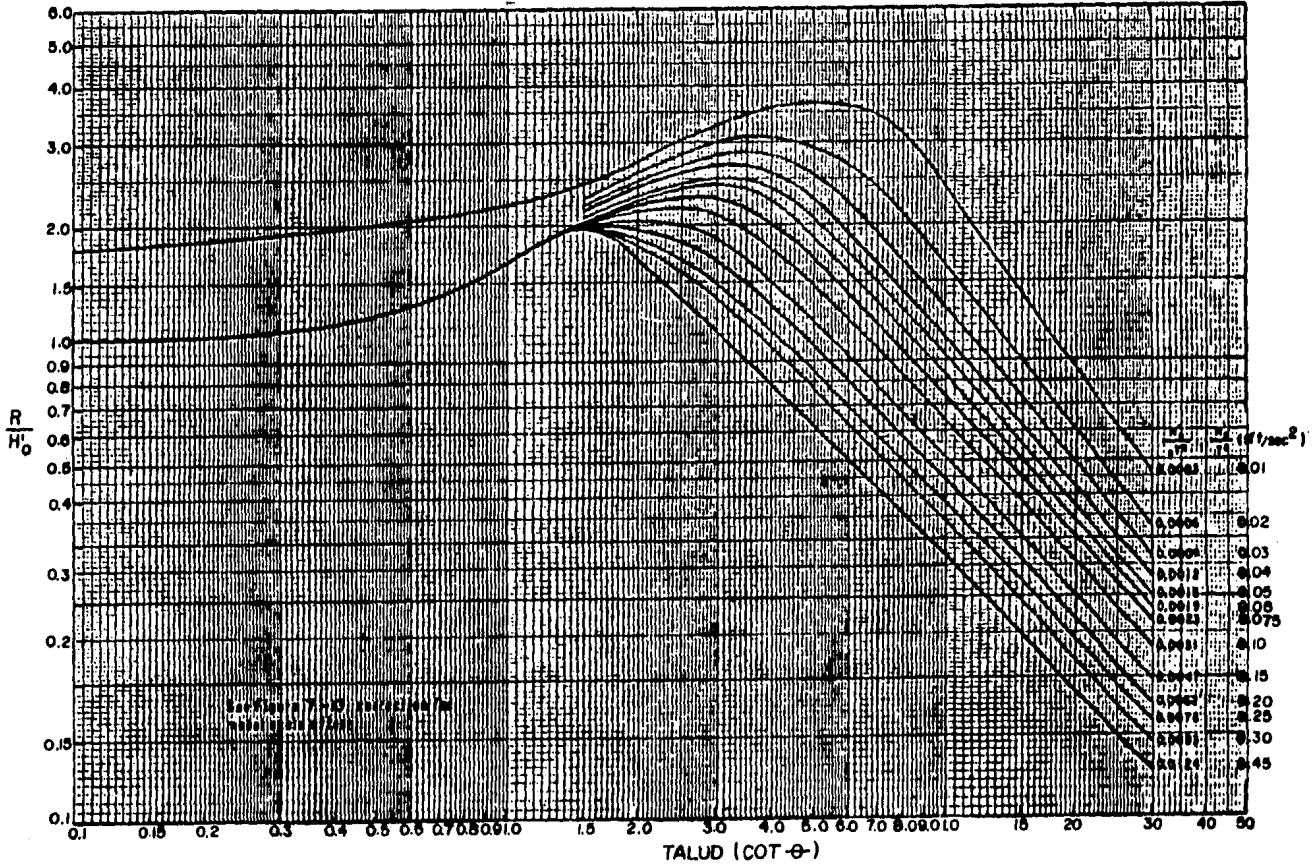


FIGURA II.16: SOBREELEVACION DEL OLAJE EN TALUDES LISOS E IMPERMEABLES PARA VALORES DE

$$\frac{d_s}{H_0} \geq 3.0.$$

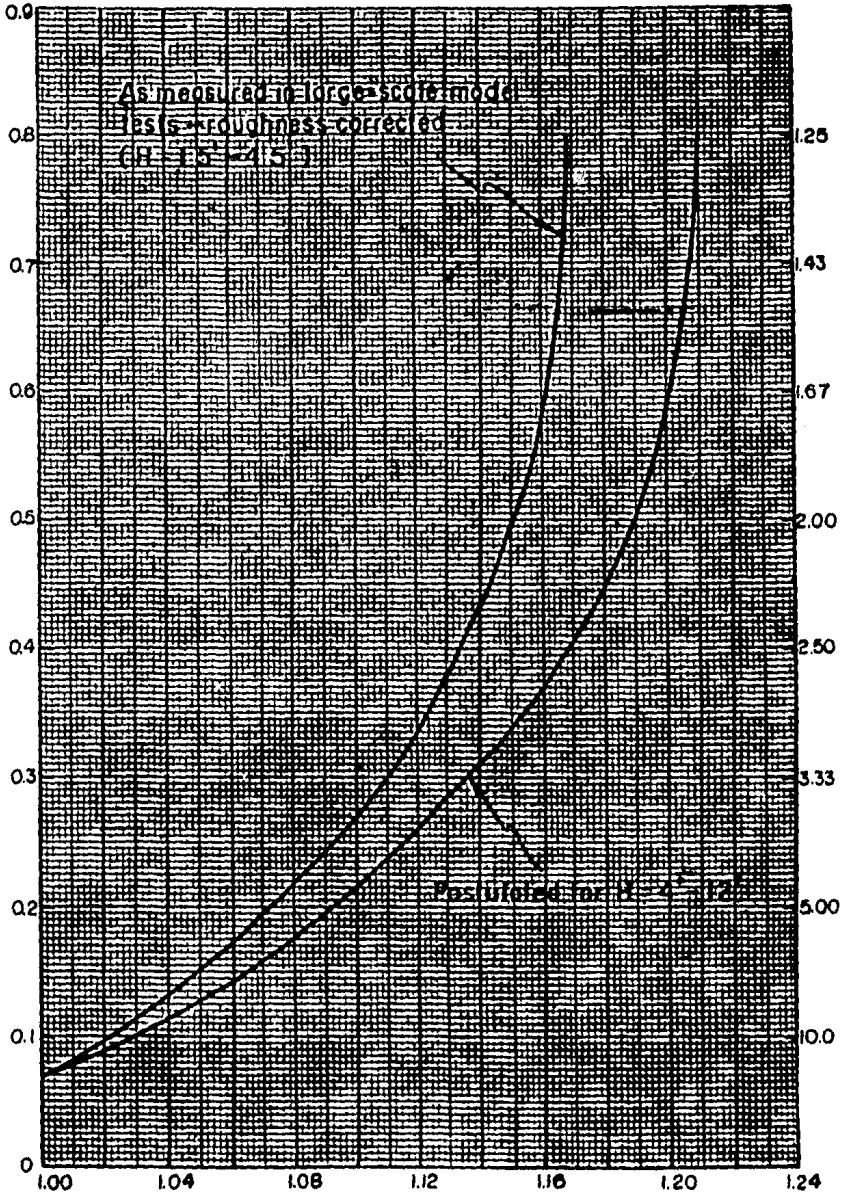


FIGURA II.17.- CORRECCION DE LA SOBREELEVACION  
(RUN UP) POR EFECTOS DE ESCALA.

## CAPITULO TERCERO

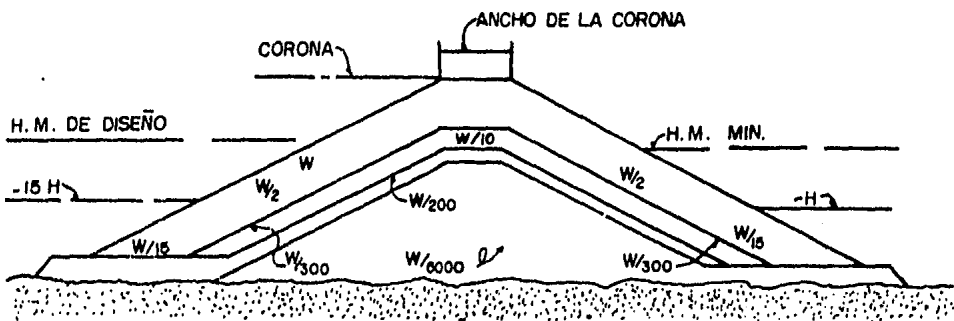
### - TIPOS DE DISEÑO -

#### 3.1.- GENERALIDADES.

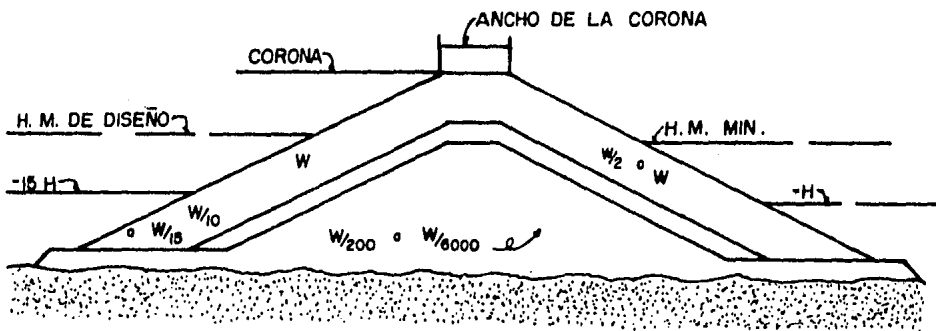
Los rompeolas se pueden construir con elementos naturales o artificiales, siendo el elemento natural la roca, producto de la explotación de canteras; los elementos artificiales son de concreto sin refuerzo y se construyen con moldes metálicos o de madera (su diseño busca crear una trabazón eficiente y que con poco peso resistan la acción del oleaje).

Un rompeolas de tipo flexible está compuesto de un pedraplen, protegido por una coraza de rocas seleccionadas o elementos artificiales, los cuales dan estabilidad a la estructura con relación al embate del oleaje. La sección transversal del rompeolas contempla un mínimo de tres capas (coraza, capa secundaria y núcleo), formadas con material y pesos especificados (ver fig. III.1).

La selección del rompeolas depende del uso ó propósito de la estructura, fuerzas que resistirá, suelo sobre el cual se va a construir, disponibilidad de material, vida útil y el costo.



SECCION TEORICA



PESOS RECOMENDADOS PARA  
LAS TRES CAPAS.

FIGURA III.1: SECCION DE UN ROMPEOLAS PARA  
CONDICION DE OLAJE ROMPIENTE.

### 3.2.- TIPOS DE ROMPEOLAS.

Actualmente se usan varios tipos de rompeolas, con diferentes tipos de material de los cuales los más empleados son: piedra, concreto, acero, madera y ocasionalmente el asfalto como material de liga. Entre los tipos más comunes de rompeolas tenemos los siguientes:

**ENROCAMIENTO.-** La estructura de enrocamiento es un conjunto de piedras naturales de diferentes tamaños y formas, colocadas al azar o en forma especial, sus taludes y el peso de las piedras se diseñan de forma que la estructura resista la acción del oleaje.

**ELEMENTOS DE CONCRETO EN LA CORAZA.-** En aquellos lugares donde no se dispone económicamente de rocas en cantidad o tamaño adecuados, se emplean formas geométricas construidas de concreto.

**RELLENO SOLIDO.-** Una estructura de relleno sólido se construye algunas veces en lugares donde se desea evitar que la acción del oleaje pase a través de la estructura; un tipo común de esta estructura, consiste en depositar hidráulicamente un relleno de núcleo y capas secundarias protegiéndose con una coraza de piedras pesadas hacia el lado del mar abierto.

COMBINACION DE PIEDRA Y CONCRETO.- La estructura de piedra y concreto se deriva de los tipos de enrocamiento y muros de concreto, variando con el de enrocamiento pues se rellena con concreto los vacios de la parte superior de la estructura, hasta formar superestructuras masivas de concreto apoyadas sobre las de enrocamiento; el uso de una estructura compuesta, - reduce la cantidad de material requerido y puede ser económico en grandes profundidades.

CAJONES DE CONCRETO.- Los rompeolas de este tipo estan contruidos de -- cascarrones de concreto reforzado, los cuales son llevados por flotación - hasta su posición, sobre una cimentación ya preparada, rellenos con pie-- dra o arena para proporcionar estabilidad y son cubiertos con losas de -- concreto o capas de piedra. En general, los cajones de concreto reforza-- do son de dos tipos; uno tiene fondo integral y el otro no tiene fondo -- permanente (la base del segundo tipo se cierra con un fondo de madera --- provisional, el cual se quita después que el cajón se ha colocado sobre - su cimentación).

### 3.3.- CRITERIO DE DISEÑO DEL ROMPEOLAS.

El diseño de este tipo de estructura consiste en la -----

determinación de los siguientes puntos:

- PESO Y TIPO DE LOS ELEMENTOS.
- ELEVACION DE LA CORONA Y DE LAS CAPAS SUYACENTES.
- ANCHO DE LAS CORONAS.
- ESPESOR DE LAS CAPAS.

a) Peso de los elementos.- Las formulas para el diseño de rompeolas se expresan en función del peso de la piedra ó elemento prefabricado, pero solo estas sirven como guías pues sus resultados son conservadores.

Enseguida se presenta la tabla de "FORMULAS EMPIRICAS" transformadas al sistema metrico decimal, en donde;

- K - constante
- $x$  -  $\cotan \alpha$
- T - periodo
- W - peso del elemento unitario
- H - altura de la ola
- $\gamma$  - peso especifico del elemento
- $H_d$  - coeficiente empirico
- $\delta$  - densidad relativa
- $\alpha$  - ángulo del talud de la estructura

FORMULAS EMPIRICAS

AUTOR	FORMULA	APLICACIONES
Eduardo Castro (1933)	$W = 704 \frac{H^3 d}{(z+1)^2 (d-1)^3 (z-2d)^{1/2}}$	Sin aplicación práctica.
Ramon Iribarren (1938)	$W = K \frac{H^3 d}{(\cot \alpha - \text{sen} \alpha)^3 (d-1)^2}$	La aplicación de esta fórmula a taludes grandes conduce a valores muy altos de los elementos de coraza, que en la mayoría de los casos impide la adopción de esos taludes.
Mathews (1948)	$W = K \frac{TH^2 d}{(d-1)^2 (\cos \alpha - 0.75 \text{sen} \alpha)^2}$	Sin aplicación práctica.
J. Larras	$W = K \frac{H^3 d}{(d-1)^3 (\cos \alpha - \text{sen} \alpha)^3}$	Con aplicación teórica
Hedar	$W = K \frac{H^3 d}{(d-1)^3 (\cos \alpha - \text{sen} \alpha)^3}$	Sin aplicación práctica
R. Y. Hudson (1958)	$W = \frac{H^3 d^4}{K_d (d-1)^3 \cot \alpha}$	La ecuación de Hudson se basa en resultados de años de experimentación en modelos y en verificaciones sobre datos de prototipo.



de dichas formulas la de R.Y. Hudson es la más usual, pues presenta la ventaja de contar con un coeficiente que depende exclusivamente del tipo de elemento a usar, además toma en cuenta algunos factores como número de capas de la coraza, forma de los elementos, grado de trabazón, modo de colocación, tipo de oleaje incidente, etc.

Los valores para  $K_d$  se muestran en la tabla # 6 y dan un factor de seguridad mínimo, por lo que se deben ajustar a la experiencia y criterio del proyectista.

- b) Elevación de la corona.- Con objeto de evitar toda rociación debido a las olas ciclónicas se debe establecer la elevación de la corona en  $\delta$  sobre el límite máximo de la sobreelevación del oleaje.

La elevación de la corona debe ser tal que garantice que en la zona abrigada tenga la suficiente calma para que la estructura cumpla los fines propuestos.

- c) Ancho de la corona.- Depende del grado de rociación permitido y del tamaño del elemento de la coraza, el ancho debe

TABLA# 6- COEFICIENTE DE ESTABILIDAD Kd

CRITERIO "SIN DAÑO" Y SOBRE ELEVACION MINIMA							
UNIDAD	n <sup>o</sup>	COLOCACION	CUERPO (Kd)		MORRO (Kd)		
			OLEAJE ROMPIENTE	OLEAJE NO ROMPIENTE	OLEAJE ROMPIENTE	OLEAJE NO ROMPIENTE	TALUD COT α
PIEDRA							
LISA REDONDEADA	2	AZAR	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 - 3.0
LISA REDONDEADA	3	AZAR	2.8	3.2	2.1	2.3	1-1.5
RUGOSA ANGULAR	1	AZAR		2.9		2.3	1-3
RUGOSA ANGULAR	2	AL AZAR	3.5	4.0	2.9 2.5 2.0	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
RUGOSA ANGULAR	3	AL AZAR	3.9	4.5	3.7	4.2	1-1.5
RUGOSA ANGULAR	2	ESPECIAL	4.8	5.5	3.5	4.5	1-3
TETRAPODO Y CUADRIPODO	2	AL AZAR	7.2	8.3	5.9 5.5 4.0	6.6 6.1 4.4	1.5 2.0 3.0
TRIBARRA	2	AL 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	AL AZAR	22.0	25.0	15.0 13.5	16.5 15.0	2.0 3.0
CUBO MODIFICADO	2	AL AZAR	6.8	7.8		5.0	1-1.5
HEXAPODO	2	AL AZAR	8.2	9.5	5.0	9.0	1-3
TRIBARRA	1	UNIFORME	12.0	15.0	7.5	9.5	

→ n- número de unidades en el espesor de la coraza.

ser tal que permita la colocación de tres elementos, el rodaje de los - equipos de construcción y mantenimiento. El ancho de la corona se estima con la ecuación siguiente:

$$B = K_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma} \right)^{1/3}$$

en donde:

B - ancho de la corona en m.

n - número de elementos

W - peso de la unidad de coraza en ton.

K - coeficiente de capa

$\gamma$  - peso específico del elemento en  $\text{ton/m}^3$ .

d) Espesor de las capas.- El espesor de las diferentes capas componentes de un rompeolas, se determina con la expresión anterior, por lo tanto:

$$e = n K_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma} \right)^{1/3}$$

en donde:

e - espesor de la capa en m.

## CAPITULO CUARTO

### - EJEMPLO DE DISEÑO -

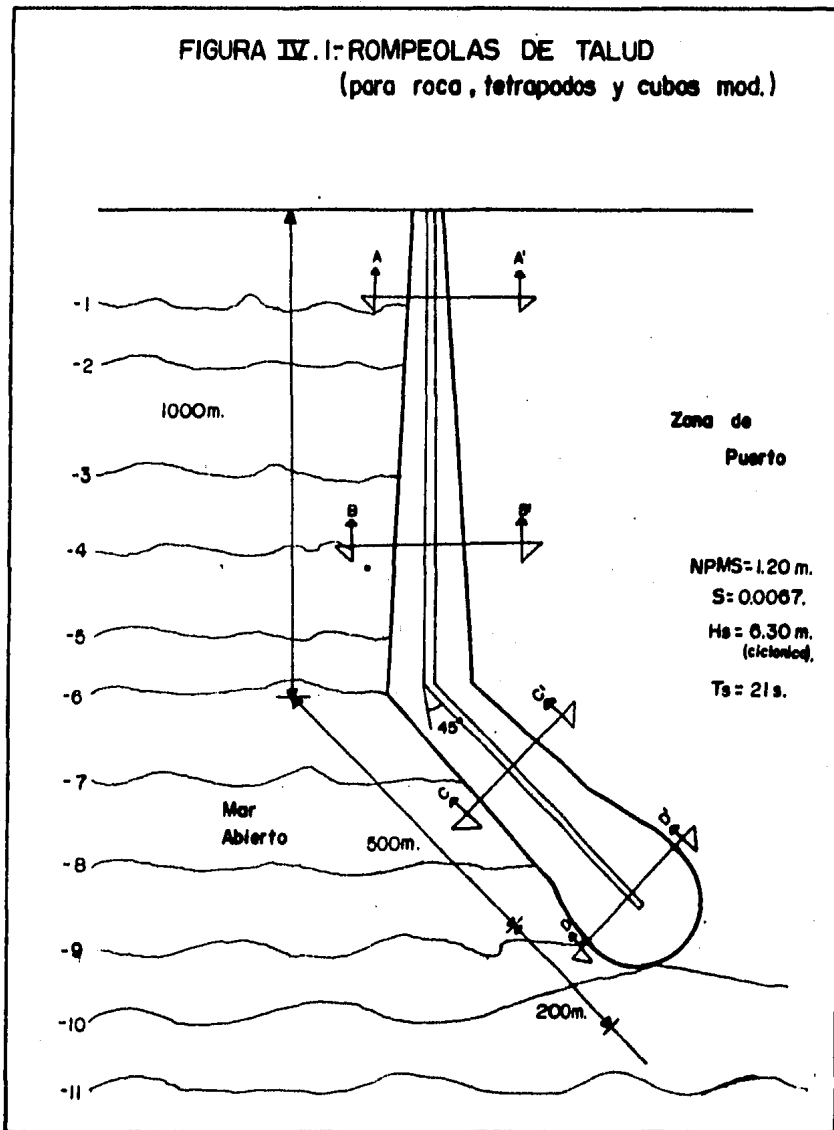
#### 4.1.- ANTECEDENTES.

Para el diseño teórico de un rompeolas se tendrá en cuenta los datos que en puntos anteriores se calcularon; como las características del oleaje extremal ( $H = 6.3$  m,  $T = 21$  s), la amplitud de la marea, etc.

También debemos considerar que un rompeolas consta de dos partes; un cuerpo ó tronco y un morro. El morro lo constituye la zona final y -- es la parte más expuesta al oleaje, el cuerpo se inicia desde el arran-- que en la playa ó costa hasta un poco antes del final de la estructura.

Para la ejemplificación del diseño de rompeolas se mencionarán -- tres elementos de protección en la coraza (roca, tetrápodo y cubo modifi-- cado) y los taludes de 2:1 para el morro y de 1.5:1 para el cuerpo. El cálculo del peso de los elementos de protección será con la fórmula de -- R.Y. Hudson, pues es la más utilizada en la práctica y la más confiable por los resultados obtenidos en rompeolas ya construidos (ver fig. IV.1).

**FIGURA IV.1: ROMPEOLAS DE TALUD**  
 (para roca, tetrapodos y cubos mod.)



#### 4.2.- PESO DE ELEMENTOS DE PROTECCION.

En este punto solamente utilizaremos la fórmula de Hudson, para el cálculo del peso de los elementos de la coraza; para el núcleo y capa secundaria del rompeolas, se dividirá el peso de la coraza entre 200 y 10 respectivamente (solo para el peso calculado de la roca). Además se realiza en cada sección señalada en la figura IV.1.

$$W = \frac{H^3 \gamma}{K_d (\delta - 1)^3 \cot \alpha} \quad (\text{Hudson})$$

#### - CORTE D-D-

Datos:

H = 6.30 m                       $\delta = 2.60$  (roca)  
 $\gamma = 2.60$  ton/m<sup>3</sup> (roca)               $\delta = 2.30$  (concreto)  
 $\gamma = 2.30$  ton/m<sup>3</sup> (concreto)               $\cot \alpha = 2.0^\circ$

Elemento	$K_d$	$H^3 \gamma$	$K_d (\delta - 1)^3 \cot \alpha$	W(ton)
Roca	2.5	560.1	20.48	31.7
Tetrapodo	5.5	575.1	24.17	23.8
Cubo Mod.	5.0*	575.1	21.97	26.2

\* Valor para oleaje no rompiente.

para la capa secundaria y núcleo, tenemos:

$$W_{c.s.} = \frac{W(\text{roca})}{10} = \frac{31.7}{10} = 3.17 \text{ ton}$$

$$W_n = \frac{W(\text{roca})}{200} = \frac{31.7}{200} = 0.16 \text{ ton.}$$

rangos aceptables de las capas del rompeolas:

Elemento	Coraza (+ 25%)	C.S. (+ 30%)	Núcleo + 50%
Roca	39.7 - 23.8 ton.	4.1 - 2.2. ton.	240-80 Kg.
Tetrápodo	29.7 - 17.8 ton.		
Cubo Mod.	32.7 - 19.6 ton.		

- CORTE C-C -

Datos:

$$H = 6.15 \text{ m}$$

$$\text{cota} = 1.5^\circ$$

Elemento	$K_d$	$H^3 \gamma$	$K_d (\delta - 1)^3 \cot \alpha$	W (ton)
Roca	3.5	604.8	21.5	28.1
Tetrápodo	7.2	535.0	23.7	22.6
Cubo Mod.	6.8	535.0	22.4	23.9

para capa secundaria y núcleo:

$$W_{cs} = 2.81 \text{ ton}$$

$$W_n = 0.14 \text{ ton}$$

rangos aceptables:

Elemento	Coraza	C.S.	Núcleo
Roca	35-21 ton	4.0-2.0 ton	212-70 Kg.
Tetrápodo	28-17 ton		
Cubo M d.	30-18 ton		

- CORTE B-B -

Datos:

$$H = 3.40 \text{ m}$$



$$\cot \alpha = 1.5^\circ$$

$$\gamma = 1.6 \text{ a } 2.3 \text{ ton/m}^3$$

$$\delta = 2.6 \text{ a } 2.3$$

Elemento	$K_d$	$H^3 \gamma$	$K_d (\delta - 1)^3 \cot \alpha$	W (ton)
Roca	3.5	102.2	21.5	4.8
Tetrápodo	7.2	90.4	23.7	3.8
Cubo Mod.	6.8	90.4	22.4	4.0

para capa secundaria y núcleo:

$$W_{cs} = 0.48 \text{ ton}$$

$$W_n = 0.024 \text{ ton}$$

rangos aceptables:

Elemento	Coraza	C.S.	Núcleo
Roca	6.0-3.6 ton	624-340 Kg.	40-12 Kg
Tetrápodo	4.8-2.9 ton		
Cubo Mod.	5.0-3.0 ton		

- CORTE A-A -

Datos:

$$H = 0.84 \text{ m}$$

$$\cot \alpha = 1.5^\circ$$

Elemento	$K_d$	$H^3 \gamma$	$K_d (\delta - 1)^3 \cot \alpha$	W (Kg)
Roca	3.5	1.54	21.5	72
Tetrápodo	7.2	1.36	23.7	57
Cubo Mod.	6.8	1.36	22.4	61

para capa secundaria y núcleo:

$$W_{CS} = 7.20 \text{ Kg}$$

$$W_n = 0.36 \text{ Kg}$$

Rangos aceptables:

Elemento	Coraza	Capa Sec.	Núcleo
Roca	90-60 Kg	10-5 Kg	0.55-0.20 Kg
Tetrápodo	70-40 Kg		
Cubo Mod.	80-50 Kg		

#### 4.3.- DIMENSIONAMIENTO DE ESPESORES.

En este punto solo utilizaremos la ecuación para calcular -----

el espesor de cada capa del rompeolas.

$$e = K_{\Delta} n \left( \frac{W}{\gamma} \right)^{1/3}$$

- CORTE D-D -

para la coraza:

- roca  $e = (1.15) (2) \left( \frac{31.7}{2.6} \right)^{1/3} = 5.30 \text{ m}$

- tetrapodo  $e = (1.04) (2) (23.8/2.3)^{1/3} = 5.30 \text{ m}$

- Cubo Mod.  $e = (1.10) (2) (26.2/2.3)^{1/3} = 4.95 \text{ m}$

para capa secundaria (en roca):

$$e = (1.15) (2) (3.17/2.6)^{1/3} = 2.46 \text{ m}$$

para el espesor del núcleo no se calcula, pues depende del nivel medio - del mar (NMM) y de la amplitud de la marea que se va a considerar.

- CORTE C-C -

Capa	W (ton)	$K_{\Delta}$	n	$\gamma$	e (m)
Coraza (roca)	28.1	1.15	2	2.6	5.10
Coraza (tetrapodo)	22.6	1.04	2	2.3	4.46
Coraza (cubo mod.)	23.9	1.10	2	2.3	4.80
C. Sec. (roca)	2.81	1.15	2	2.6	2.36

- CORTE B-B -

Capa	W (ton)	$K_{\Delta}$	n	$\gamma$	e(m)
Coraza (roca)	4.8	1.15	2	2.6	2.82
Coraza (tetrapodo)	3.8	1.04	2	2.3	2.46
Coraza (cubo mod)	4.0	1.10	2	2.3	2.65
C. Sec. (roca)	0.48	1.15	2	2.6	1.31

- CORTE A-A -

Capa	W (ton)	$K_{\Delta}$	n	$\gamma$	e(m)
Coraza (roca)	0.07	1.15	2	2.6	0.70

Coraza (tetrapodo)	0.06	1.04	2	2.3	0.62
Coraza (cubo mod.)	0.06	1.10	2	2.3	0.66
C. Sec. (roca)	0.007	1.15	2	2.6	0.32

#### 4.4.- ELEVACIONES Y ANCHOS DEL ROMPEOLAS.

Para la iniciación de este punto necesitamos contar con el nivel de la pleamar máxima registrada, la que escogemos al azar de las "tablas de predicción de mareas de la Republica Mexicana", tratando de considerar el valor más común de las costas nacionales:

NPMS = nivel de pleamar máximo superior = 1.20 m

NPM = nivel de pleamar medio ..... = 0.50 m

los calculos que enseguida se muestran y las consideraciones necesarias para el diseño del rompeolas, con respecto a las elevaciones y anchos de la estructura, se realizaran para las secciones señaladas en la fig.IV.1

- CORTE D-D -

Núcleo: El ancho de la corona en el núcleo, debe ser lo suficiente---

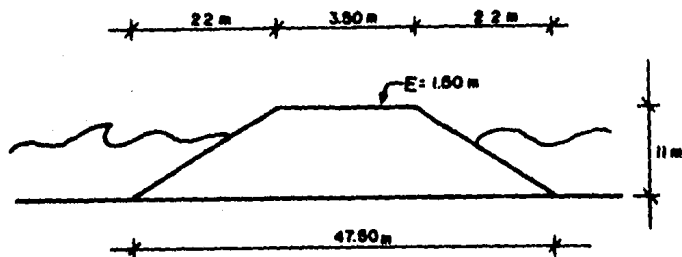
amplio para que permita la circulación de los vehiculos en la construcción del rompeolas, por lo que se considerará un ancho mínimo:

$$\therefore B_n = 3.50 \text{ m}$$

la elevación la calculamos como sigue:

$$E_n = NPM + H_m = 0.50 + 1.00 = 1.50 \text{ m}$$

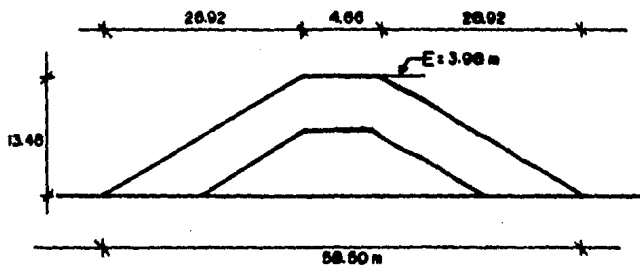
NOTA: Se considero la altura de ola media ( $H_m = 1.00\text{m}$ ), para tener un rango aceptable de seguridad y que la marea no rebase el nivel de elevación considerado, así como el Run-up que nos afectara en la estructura ya terminada.



Capa Secundaria:

$$E_{CS} = E_n + cs = 1.50 + 2.46 = 3.96 \text{ m}$$

$$B_{CS} = 4.66 \text{ m}$$

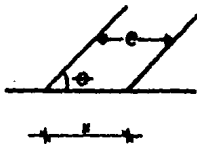


$$\theta = 26.57$$

$$\text{sen } \theta = 2.46/x$$

$$x = 2.46/\text{sen } \theta$$

$$x = 5.50 \text{ m}$$



Coraza (roca).

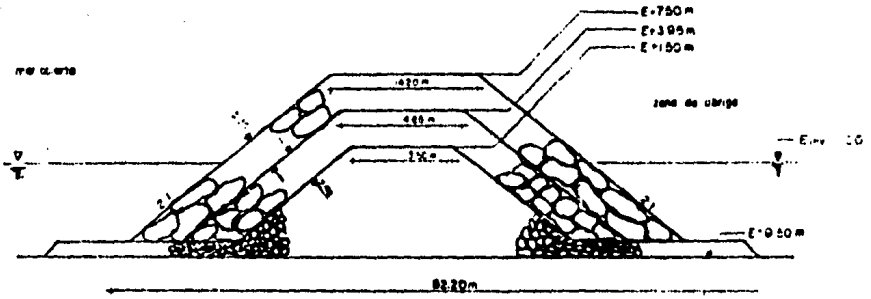
$$E_c = \text{NPMS} + H_d = 1.20 + 6.30 = 7.50 \text{ m}$$

$$B_c = 14.20 \text{ m}$$

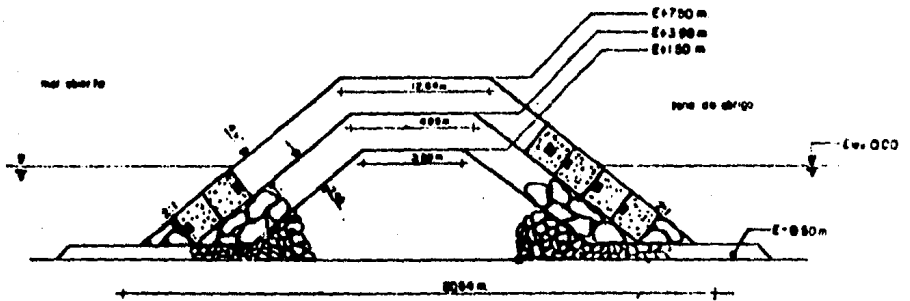
A continuación se muestran los cortes del rompeolas con las elevaciones y anchos ya calculados.

CORTE D-D

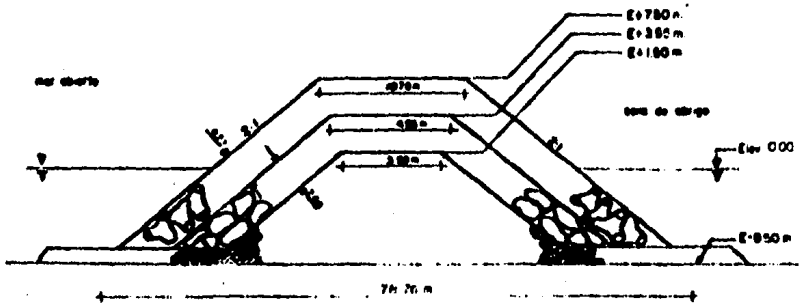
(roca)



(cubo modificado)



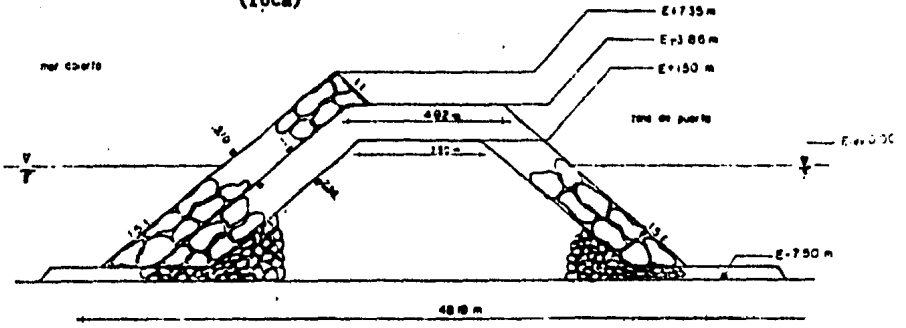
(tetrapodo)



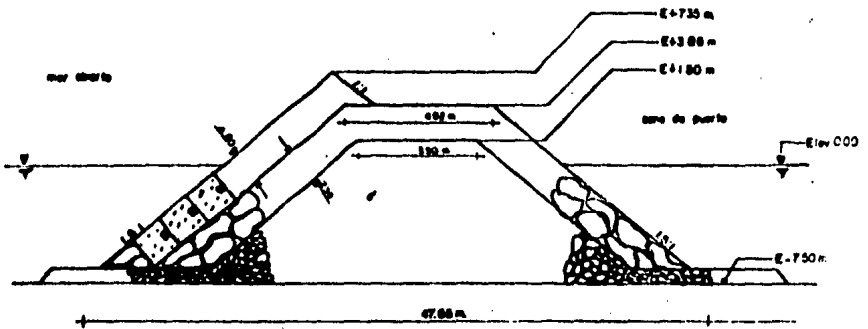


CORTE C-C

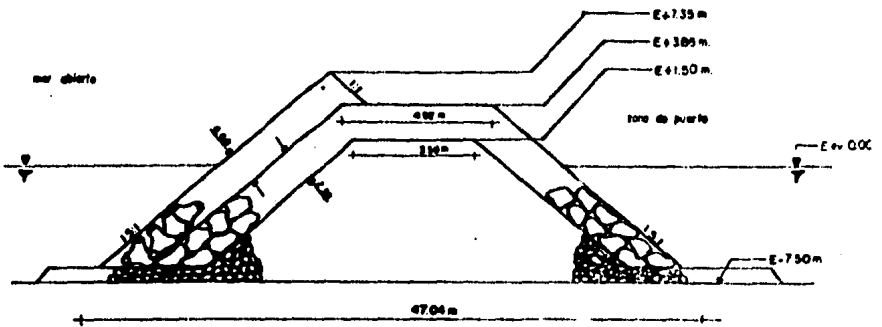
(roca)



(cubo modificado)

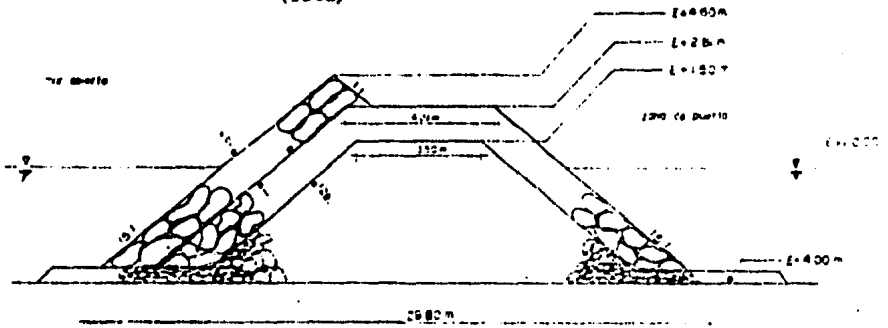


(tetrapodo)

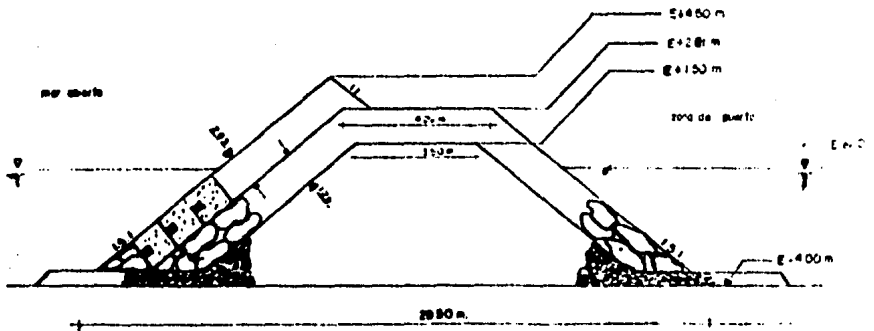


**CORTE B-B**

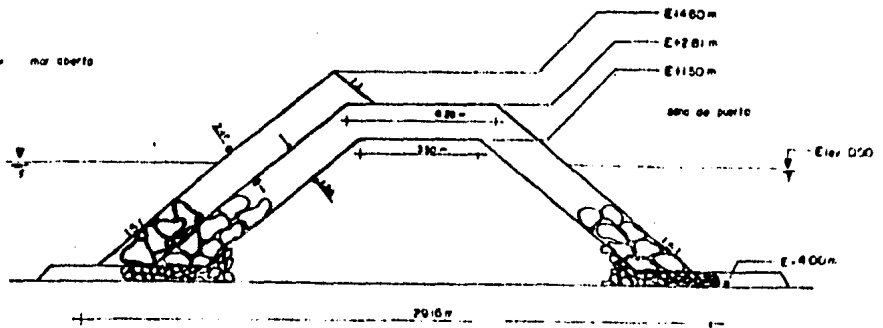
**(roca)**



**(cubo modificado)**

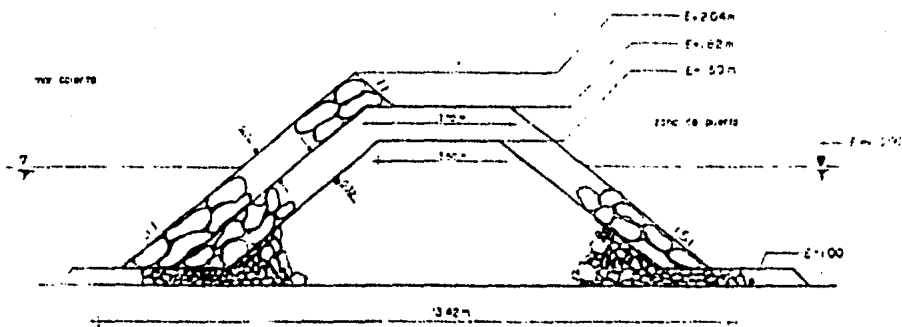


**(tetrapodo)**

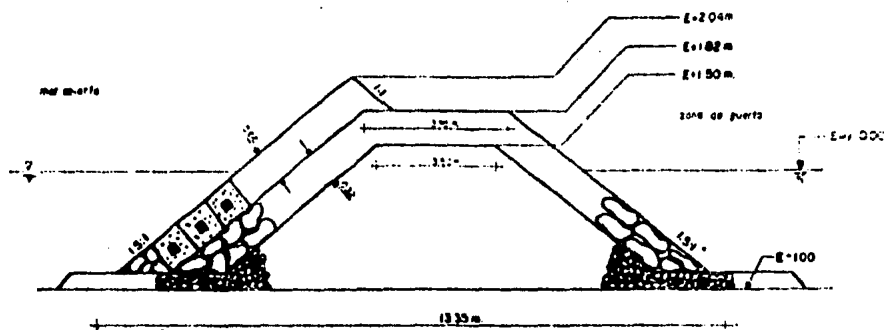


CORTE A-A

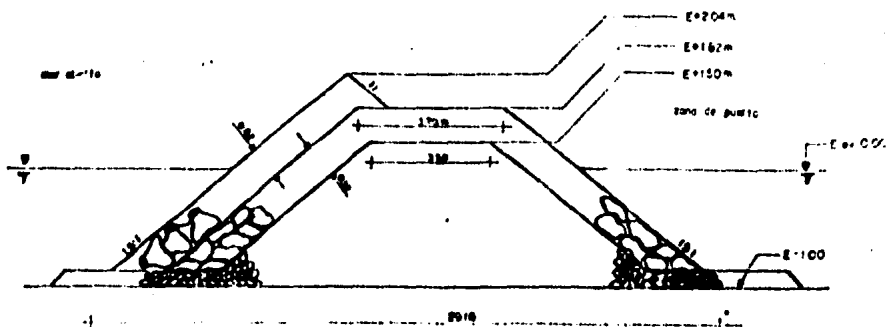
(roca)



(cubo modificado)



(tetrapodo)



## CAPITULO QUINTO.

### - COSTOS -

Con respecto a los rompeolas de talud, sabemos que consta de tres capas (como mínimo), de las cuales la más importante es la coraza por -- que es la que está expuesta al mar abierto y la que puede incrementar su costo, para la capa secundaria y el núcleo no presentan muchos problemas, pues al explotar una cantera de piedra se consigue el material con el -- peso y tamaño requerido por dichas capas.

La selección del material que se colocara en la coraza del rompeo las pueda presentar el caso de tener varios materiales económicamente -- justificables, de donde la decisión que se consideró, se fundamentara en el criterio y experiencia del diseñador; por eso se presentan tres casos en este trabajo para analizar una situación semejante.

#### 5.1.- CONCEPTOS DE OBRA.

El costo de construcción del rompeolas, se obtiene considerando -- todos los conceptos de obra que intervienen según el proyecto de la ----

estructura. Enseguida se mencionan los conceptos de obra que involucran la construcción de un rompeolas:

- a) apertura y explotación de los bancos de material y pagos por derecho de explotación.
- b) Distancia, construcción y conservación de los caminos de ---- acceso que van de los bancos de material, hasta donde se localizan los rompeolas.
- c) Acondicionamiento de vías ferreas, si es necesario, y pago de fletes ferroviarios.
- d) Acondicionamiento de patios para la clasificación y carga del material.
- e) Instalación, puesta en servicio y conservación de básculas durante el tiempo de ejecución del proyecto.
- f) Extracción, carga y transporte, colocación del material rocoso de acuerdo al proyecto.
- g) Hora-máquina del equipo necesario para la realización de la obra.

- h) Fabricación y colocación de los elementos artificiales, si se consideran en el diseño.
- i) Precios unitarios estipulados en el catálogo de conceptos de trabajo, es decir, el personal directivo, de ingeniería y -- construcción.

## 5.2.- ESTIMACION DEL COSTO.

En este punto se estimara el costo de la obra diseñada, con lo -- cual tendremos una idea de las erogaciones que realiza la nación al -- construir un rompeolas como la que se muestra en la figura IV. .

Enseguida se presentan los precios unitarios promedio de los que obtuvimos en el anexo, y son los siguientes:

Núcleo (roca)	\$ 2,370.05/Ton.
Capa Secundaria (roca)	\$ 2,370.05/Ton.
Coraza (roca)	\$ 2,370.05/Ton.
Coraza (tetrapodo)	\$20,659.52/m <sup>3</sup>
Coraza (cubo modificado)	\$25,824.50/m <sup>3</sup>

**TABLA# 7.- CALCULO DE AREAS Y VOLUMENES TOTALES  
DEL ROMPEOLAS.**

SECCION	Longitud (L)	NUCLEO		CAPA SEC.		CORAZA 1		CORAZA 2		CORAZA 3	
		Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.
A-A	300	18.125	5.440	4.24	1.270	3.70	1.115	3.52	1.060	3.30	9.90
B-B	700	64.63	45.240	34.15	23.900	39.09	27.365	36.79	25.755	34.07	23.850
C-C	500	153	76.500	96.47	48.235	120.30	60.150	113.30	56.650	107.04	53.530
D-D	200	280.5	56.100	144.57	28.910	394.33	78.860	367.81	73.560	335.85	67.170
Sumatoria			183,280		102,315		167,500		157,025		145,530

**TABLA#8- CALCULO DE VOLUMEN NETO Y COSTO TOTAL  
DE LAS ALTERNATIVAS, CONSIDERANDO  
LA POROSIDAD EN CADA CASO.**

ALTERNATIVA	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Volumen real (m <sup>3</sup> )	Costo \$ x 10 <sup>6</sup>	Costo total \$ x 10 <sup>6</sup>
1	453,095	37	285,450	1,758.98	1,758.98
2	285,595	37	179,925	1,108.72	2,730.80
	157,025	50	78,515	1,622.08	
3	285,595	37	179,925	1,108.72	3,100.56
	145,530	47	77,130	1,991.84	



en la tabla # 7 se muestra el cálculo de las áreas y volúmenes para cada capa y corte señalado en la figura. IV.1.

En la tabla # 8 se realizan los cálculos del volumen de vacíos de cada material, además el costo total para cada alternativa presentada en este trabajo.

En resumen, de los resultados obtenidos, el más económico resultó ser el que está construido totalmente con piedra, pero el que da mayor seguridad es que se construye con tetrápodos, por lo que se buscaría una combinación de ambos para hacer un rompeolas más factible.

## CAPITULO SEXTO.

### - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -

Las estructuras de abrigo, como el rompeolas, se pueden diseñar con la altura de ola significativa ( $H_s$ ), permitiendo cierta degradación en la estructura con la presencia de olas con mayor altura, más si se trata de una zona de frecuente actividad ciclónica, se debe realizar un análisis económico y probabilístico, cuyo resultado óptimo, considerando al mantenimiento, dará una ola de mayores dimensiones.

El análisis de optimización debe considerar diversas opciones de solución, con diferentes tipos de elementos; de las tres alternativas de este trabajo, el más eficiente es el de coraza con tetrápodos, pues su coeficiente de trabazón proporciona mayor seguridad en la estructura pero con el inconveniente de ser la opción de más alto costo.

Para obras de tales magnitudes puede ser conveniente realizar una combinación de los elementos de protección para la formación de la coraza del rompeolas, con lo que se reduce el costo de la estructura por ejemplo, se puede formar el morro y parte del cuerpo con tetrápodo, que por estar en zona de oleaje severo requieren la mayor seguridad, y lo faltante de rompeolas con roca ó elementos prefabricados que son de ----

menos costo que los tetrápodos.

Las recomendaciones para el diseño de un rompeolas, son:

- 1) Analizar la mayor cantidad de información posible tanto ciclónica como estadística (normal) del oleaje.
- 2) Se debe de realizar un estudio del transporte litoral de la zona, para conocer el periodo de vida útil del rompeolas en caso de -- azolves ó para conocer la posición correcta que debe tener la eg tructura para proveer las alteraciones del lugar.
- 3) Realizar ensayos en modelos para conocer en forma experimental - el comportamiento de la estructura diseñada.
- 4) La ubicación del rompeolas es recomendable realizarlas para tramos de 50 m de longitud para tener una mayor precisión del volumen requerido. (en el trabajo se eligieron las cuatro secciones en forma aleatoria).
- 5) Para el diseño de los delantales, se recomienda que su espesor e sea mayor de 50 cm. y su longitud L mayor de 5.00 m en el lado - expuesto al oleaje y entre 1.50 a 2.00 m. en el lado protegido.-  
En muchas ocasiones se construyen utilizando los mismos -----

elementos del núcleo y nunca se debe de evitarse su construcción ya que es el elemento que mayor seguridad le da a la obra.

- 6) El filtro del rompeolas se utiliza para evitar el hundimiento - de las piedras durante la construcción debido a las corrientes y el oleaje. También evita que la arena de 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 ó deslizamiento de algunas zonas de la estructura. El filtro puede evitarse en ocasiones, ya que los de lantales pueden funcionar como protección que evite la extrac- ción y movimiento de la arena sobre la que se apoya la obra.

Para finalizar el trabajo, se comenta que en las costas occidentales de la República Mexicana se construyen rompeolas de roca, pues existen - canteras de piedra a distancias de acarreo económicos; sin embargo en - las costas del Golfo de México se construyen rompeolas mixtos, pues re- sulta económico colocar elementos de concreto en la coraza que transpor tar roca al sitio de interés.

A N E X O

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ROCA Y ELEMENTOS PREFABRICADOS.

Para mostrar el análisis de precios unitarios tenemos el caso del puerto de Progreso, Yuc.

Como en el presente trabajo se ejemplificaron rompeolas de enrocamiento y de elementos prefabricados en la coraza, primero analizaremos el precio unitario del rompeolas totalmente de roca.

A) Extracción, carga, acarreo y colocación de enrocamiento en rompeolas, ( a volteo y por vía marítima).

1) Explotación y selección.

a) Equipo: Cargador 88 (2)	\$ 26,197	X	1960 hrs	=	51'346,120
Equipo de perforac. (2)	\$ 10,947	X	1400 hrs	=	15'325,800
Grupo auxiliar	\$ 3,787	X	150 hrs	=	568,050
Generador	\$ 4,317	X	150 hrs	=	647,550
Camión	(4) \$ 20,934	X	3920 hrs	=	82'061,280
Tractor	D-8 \$ 18,437	X	370 hrs	=	6'821,690
					<hr/>
					\$156'770,490

b) Personal:	Cabo	\$ 697.65 X 1960 hrs	= \$ 1'367,394
	Oficial	\$ 558.15 X 980 hrs	= \$ 546,987
	Obrero Gral.	\$ 309.45 X 5880 hrs	= \$ 1'819,566
			<hr/>
			\$ 3'733,947

c) Material:	Anforex	28,000 Kg X \$618.40 Kg=\$	17'315,200
	Dinamita	28,000 Kg X \$ 56,000 "	=\$ 15'680,000
	Barrenas 100 brocas 3" ø	\$102,000	=\$ 10'200,000
	Mechas y conectores	17%	\$ 7'343,150
			<hr/>
			\$ 50'538,150

Equipo: \$ 156'770.490

Mano de Obra: \$ 3'733.947

Materiales: \$ 50'538.150

---

\$ 211'042,587

\$ 211'042,587 ÷ 300,000 ton = \$ 703.48/ton

d) Regalias: \$ 15/ton X 1.25 desp. = \$ 18.75

## II.- CARGA A CAMION:

a) Equipo: Cargador 988 \$ 26,197 X 870 hrs = \$ 22'791,390

Grua \$ 25,040 X 100 hrs = \$ 2'504,000

b) Mano de Obra: Cabo	\$697.65 X 600 hrs	=	\$ 418,590
	Obrero Gral 309.45 X 1200 hrs	=	371,340
			<hr/>
			\$ 789,930

\$ 26'085,320 ÷ 300,000 Ton = \$ 86.95/ton

III.- Acarreo de la pedrera al Pto. de Progreso (14.7 Km. al atracadero).

a) Equipo: Camión volteo FC	\$20,934 X 2400 hrs	=	50'241,600
	Camión plataforma 10,962 X 1200 hrs	=	13'154,400
			<hr/>
			\$ 63,396,000

\$ 63,396,000 ÷ 300,000 Ton = \$ 211.32/Ton.

IV.- Almacenamiento en zona carga a transporte marino

a) Mano de Obra: Obrera Gral.	\$309.45 X 200 hrs	=	61,890
b) Equipo: Cargador 988	26,197" 100 hrs	=	2'619,700
			<hr/>
			\$ 2'681,590

\$ 2'681,590 ÷ 300,000 Ton = \$ 8.94/Ton



V.- Carga a equipo marino:

a) Equipo: Cargador 988	\$ 26,197 X 870 hrs	=	\$ 22'791,390
Grúa	25,040 X 150 hrs	=	3'756,000
			<hr/>
			\$ 26'547,390

b) Mano de obra:Obrera Gral \$309 X 1305 hrs = \$403,832,25  
\$ 26'951,222.25 ÷ 300,000 Ton = \$ 89.84/Ton.

VI.- Acarreo marítimo.

a) Equipo: Remolcador 700 H.P.	\$ 27,245 X 2,250 hrs	=	
			\$ 61'301,250
Barcaza 1300 Tons	\$13,600 X 4,500 hrs	=	61'200,000
			<hr/>
			\$122'501,250

b) Mano de obra: maniobrista	\$697.65 X 2,250 hrs	=	
			1'569,712
Obrero Gral \$309.45	X6,750 hrs	=	2'088,788
			<hr/>
			\$ 3'658,500

\$126'159,750 ÷ 300,000 Ton = \$ 420.53/Ton

VII.- Descarga de chalam en isla.

a) Equipo: cargador 988	\$ 26,197 X 1950 hrs =	\$ 51'084,150
Grúa	25,040 X 600 hrs =	15'024,000
		<hr/>
		\$ 66'108,150

b) Mano de Obra: manio- brista.	\$697.65 X 1950 hrs =	\$ 1'360,398
Obrero Gral.	309.45 X 5850 hrs =	1'810,283
		<hr/>
		\$ 3'170,681

69'278,831 ÷ 300,000/Ton = \$ 230.93/Ton.

VIII.- Colocación en rompeolas.

a) A volteo:  
Carga a camión y descarga (idem al concepto V)  
\$ 89.84/ton.

b) Con charola ó grua:  
Equipo: grúa \$ 25,040 X 1950 hrs = \$ 48'828,000  
Mano de Obra: maniobrista coloc. \$ 697.65 X 1950 hrs =  
\$ 1'360,398

Obrero Gral. \$309.45 X 5850 hrs = \$ 1'810,283

\$51'998.681

\$51'998.681 ÷ 300,000 = \$ 173.33/Ton.

RESUMEN

Explotación y selección	Vía marítima	Terrestre
	\$ 703.48/Ton	\$ 703.48/Ton
Regalías	18.75/Ton	18.75/Ton
Carga a Camión	86.95/Ton	86.95/Ton
Acarreo de pedrera a zona carga	211.32/Ton	316.98/Ton
Almacenamiento zona carga	8.94/Ton	---
Carga a equipo marino	89.84/Ton	---
Acarreo marítimo	420.53/Ton	---
Descarga en la isla	203.93/Ton	---
Colocación a volteo	89.84/Ton	89.84/Ton
Colocación con charola	173.33/Ton	173.33/Ton
	<hr/>	<hr/>
a volteo	\$1'860.58/Ton	\$1'216.00/Ton
con charola	1'944.07/Ton	1'299.49/Ton
Indirectos y utilidades	\$2,790.87	\$1,824.00
50%	2,916.11	1,949.24

B) Fabricación y colocación de blocks de 10 tons.

1.- Fabricación.

a) Equipo

Torre concretera	\$ 25,165.00 X 400 hrs	= \$ 12'439,525.00
Olla/Camión	8,275.00 X 1600 hrs	13'240,000.00
Bomba conc.	6,236.00 X 400 hrs	= 2'494,400.00
Trascavo 966	15,827.00 X 400 hrs	6'330,800.00
		<hr/>
		\$ 34'504,725.00

b) Mano de Obra:

Cabo	\$ 697.65 X 500 hrs	= \$ 348,825.00
Oficial	558.15 X1000 hrs	= 558,150.00
Ayte	538.20 X1000 hrs	= 538,200.00
Obrero Gral.	309.45 X3000 hrs	= 928,350.00
		<hr/>
		\$ 2'373,525.00

$$\$ 36'878,250 \div 34,000 \text{ m}^3 = \$ 1,084.65/\text{m}^3$$

c) Materiales: Arena  $0.468 \text{ m}^3$  X \$1930 = \$ 903.24

grava 0.748 m<sup>3</sup> X \$ 1,930 = \$ 1,443.64

Cemento 0.284 Ton X 15,650 = 4,444.60

---

\$ 6,791.48/m<sup>3</sup>

Cimbra metálica:  $\frac{350 \text{ m}^2 \times \$ 36\,000/\text{m}^2}{34\,000/\text{m}^3} = 370.59/\text{m}^3$

Curacreto: 1.5 Lts/m<sup>3</sup> X \$ 160.00 = \$240.00/m<sup>3</sup>

Aditivo 1.5 Kg/m<sup>3</sup> X 440.00 = 660.00/m<sup>3</sup>

Desencofrante 1.0 Kg X 80.00 = 80.00/m<sup>3</sup>

---

\$980.00/m<sup>3</sup>

## II.- Carga a equipo de transporte.

a) Equipo: Grúa \$ 25,050.00 X 750 hrs = \$ 18'787,500.00

b) Mano de Obra:

Maniobrista \$ 697.65 X 750 hrs = \$ 523,238.00

Obrera Gral. \$ 309.45 X 2250 hrs = \$ 696,262.00

---

\$ 1'219,500.00

\$ 20'007,000.00 ÷ 34,000 m<sup>3</sup> = \$ 588.44/m<sup>3</sup>

III.- Transporte del block a obra ó almac. y carga.

a) Equipo: Camión Plataf. \$ 10,962.00 X 900 hrs = \$ 9'865,800.00

$$\$ 9'865,800.00 \div \$ 34,000 \text{ m}^3 = \$ 290.17/\text{m}^3$$

IV.- Descarga de block a carga a equipo marino.

a) Equipo: Grúa \$ 25,050 X 1000 hrs = \$ 25'050,000.00

b) Mano de Obra:

Maniobrista \$ 697.65 X 1000 hrs = \$ 697,650.00

Obrera Gral. \$ 309.45 X 2000 hrs = 618,900.00

---

\$1'316,550.00

$$\$ 26,366,550 \div 34\,000 \text{ m}^3 = \$ 775.49/\text{m}^3$$

V.- Acarreo marítimo.

Similar al analizado para piedra.

$$\$ 420.53/\text{Ton} \times 2.3 \text{ Ton}/\text{m}^3 = 967.22/\text{m}^3$$

VI.- Descargo en isla.

Similar al n<sup>o</sup>m. IV pero con 700 hrs.

\$ 545.63/m<sup>3</sup>

VII.- Colocación con grúa.

a) Equipo: Grúa (7000) \$ 42,650.00 X 1000 hrs = 42'650,000.00

b) Mano de Obra:

Maniobrista \$ 697.65 X 2000 hrs = \$ 1,395.300

Ayudante \$ 538.20 X 3000 hrs = \$ 1,614.600

Obrera Gral \$ 309.45 X 4000 hrs = \$ 1,237.800

\$ 4,247.760

46,897,700.00 ÷ 34,000 m<sup>3</sup> = \$ 1,379.34/m<sup>3</sup>

RESUMEN

Fabricación	\$ 1,084.65/m <sup>3</sup>
Materiales	8,142.07/m <sup>3</sup>
Carga a equipo transporte	588.44/m <sup>3</sup>
Transporte al atracadero	290.17/m <sup>3</sup>

Descarga y carga	775.49/m <sup>3</sup>
Acarreo marítimo	967.22/m <sup>3</sup>
Descarga en isla	545.13/m <sup>3</sup>
Colocación con grúa	1,379.34/m <sup>3</sup>
	<hr/>
SUB-TOTAL	\$ 13,773.01/m <sup>3</sup>
Indirectos u utilidades	6,886.51/m <sup>3</sup>
	<hr/>
	\$ 20,659.52/m <sup>3</sup>

Este precio se utilizara para los cubos modificados, ya que para --  
tetrapodos se aumentará un 25% por derecho de autor.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- SHORE PROTECTION PLANNING AND DESIGN  
U.S. ARMY 1977 TOMO I Y II .
  
- 2.- BUSTAMANTE AHUMADA ROBERTO "INGENIERIA MARITIMA"  
MEXICO 1959
  
- 3.- ALONSO DE F. QUINN "DESIGNS AND CONSTRUCTIONS OF  
PORTS AND MARINE STRUCTURES" Mc. GRAW HILL 1961
  
- 4.- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES, VOL. A-2.13  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.  
MEXICO 1983.
  
- 5.- SANTANA RODRIGUEZ JESUS "DISEÑO DE ROMPEOLAS PARA EL  
PUERTO DE SAN QUINTIN B.C." TESIS PROFESIONAL, FACULTAD  
DE INGENIERIA, UNAM, MEXICO, 1979.
  
- 6.- BRINGAS MURRIETA LUIS " CONSTRUCCION DE ROMPEOLAS DE  
ENROCAMIENTO" TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE INGENIERIA  
UNAM, MEXICO, 1979.

- 7.- GUEVARA REYES ARTURO "ESTUDIO EXPERIMENTAL EN CANAL DE LA OBRA DE PROTECCION COSTERA PARA LA SIDERURGICA LAZARO --- CARDENAS - LAS TRUCHAS, S.A." TESIS PROFESIONAL, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ---- ARQUITECTURA, IPN, MEXICO, 1978.
- 8.- FARAH DE ANDA LUIS MANUEL " ANTEPROYECTO DE LAS OBRAS --- EXTERIORES PARA EL PUERTO DE TUXPAN, VER. " TESIS PROFESIONAL, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ---- ARQUITECTURA. IPN, MEXICO, 1972.
- 9.- APUNTES DE CLASE " INGENIERIA MARITIMA " FACULTAD DE INGENIERIA: UNAM, MEXICO, 1984.
- 10.- MARIA DE LOURDES SANTILLAN PEREZ, LUIS CESAR VAZQUEZ SEGOVIA, RICARDO SANCHEZ CORTEZ. " APUNTES DE APOYO PARA LA ASIGNATURA " INGENIERIA MARITIMA " QUE SE IMPARTE EN LA FACULTAD DE ---- INGENIERIA UNAM ". TESIS PROFESIONAL FACULTAD DE INGENIERIA - UNAM, 1982.