

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

Señor ALBERTO CAMARILLO VAZQUEZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Héctor López Gutiérrez, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"VENTAJAS EN EL USO DE ROMPEOLAS CON SECCION REDUCIDA"

1. Criterios generales de diseño de rompeolas de talud.
2. Consideraciones sobre las ventajas en la reducción de coraza.
3. Caso Salina Cruz.
4. Conclusiones.

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

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 10 de enero de 198
EL DIRECTOR

ING. MARCO AURELIO TORRES HERRERA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

VENTAJAS EN EL USO DE ROMPEOLAS CON SECCION REDUCIDA.

INTRODUCCION.

Capítulo 1 . CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE ROMPEOLAS DE TALUD.

1.1 Generalidades .

1.2 Efectos del oleaje.

1.3 Bases para el cálculo de rompeolas de enrocamiento.

1.4 Detalles adicionales de diseño.

Capítulo 2. CONSIDERACIONES SOBRE LAS VENTAJAS EN LA REDUCCION DE CORAZA.

2.1 Generalidades.

2.2 Criterio de riesgo.

2.3 Consideraciones economicas.

2.4 Consideraciones al reducir la altura de diseño , para los elementos componentes de la coraza.

Capítulo 3. SALINA CRUZ.

3.1 Generalidades del sistema portuario nacional.

3.2 Salina Cruz.

3.3 Cálculo de los volúmenes generados por los rompeolas en el tercer tramo.

Capítulo. 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

I N T R O D U C C I O N

En México como en cualquier parte del mundo, los sistemas portuarios son de gran importancia para el desarrollo de sus pueblos.

Los puertos son el enlace entre el sistema de transporte terrestre y el transporte marítimo. A través de ellos se desplazan grandes volúmenes de carga, los cuales son enviados a los centros de consumo, ó bien salen de los centros de producción para su transportación, y poco después para su utilización.

Para que un sistema portuario le de protección a los barcos que arriban o se encuentran anclados en sus instalaciones, es necesario contar con obras de protección como son: los rompeolas que proporcionan abrigo durante su permanencia en el lugar.

En el trabajo que se ha realizado, se ha dividido para su estudio en tres capítulos, y una última parte correspondiente a las conclusiones y recomendaciones.

En el primer capítulo se mencionan los diferentes tipos de rompeolas, de acuerdo a su posición geográfica respecto a la costa, así como a los materiales que los componen.

Se habla sobre los factores físicos que intervienen para elegir el tipo de estructura, en base a una altura de ola seleccionada donde se piensa colocar el rompeolas. También se hace mención a las diferentes fórmulas establecidas por varios autores, para determinar el peso de sus elementos componentes, y las recomendaciones que propone el Shore Protection Manual para la coraza, subcapas, y núcleo a diferentes profundidades, tomando en cuenta la fuerza del oleaje que incide sobre la capa protectora del rompeolas.

En el capítulo dos, hablamos de las ventajas de reducir la coraza, para ello hacemos un análisis desde dos puntos de vista, primero mediante un criterio de riesgo, y después mediante una consideración económica.

En el primer caso se establece, que si durante la vida previsible de la obra, se presenta una temporal mayor que el establecido, por la altura de la ola de diseño del rompeolas, éste sufrirá un determinado porcentaje de daños, con un costo determinado de mantenimiento anual.

Para el segundo punto de vista, se establece una comparación entre alturas de ola de diseño y los costos de la obra, encontrando un punto en el cual, para una altura de ola existe un costo total óptimo. Estos costos totales, son el resultado de la suma de los costos de construcción, más el valor de las pérdidas económicas probables.

En este análisis se hace una demostración en el cual los costos totales óptimos, no se encuentran necesariamente en la intercepción de las curvas, de costos de construcción, y costos de las pérdidas económicas probables.

Es de esperarse que a medida que aumentamos la altura de la ola de diseño el costo total se hace más elevado. Si por el contrario disminuimos esa altura hasta que prácticamente sea muy pequeña, llegará el momento en que los daños sufridos estarán en función del oleaje, que incide sobre el puerto, barcos, e instalaciones.

En el último capítulo hablamos del caso del puerto petrolero de Salina Cruz.

Se empieza con una descripción del Sistema Portuario Nacional, en relación a los Puertos más importantes, en cuanto al tipo de carga y volúmenes que manejan. Se establece una comparación de la carga movida entre 1973 y 1981. Pudiéndose decir que Salina Cruz es un puerto de cabotaje, siendo sus exportaciones principales a base de petróleo.

Para el diseño del rompeolas como obra de protección, del Puerto Petrolero de Salina Cruz, se utilizó un modelo a escala en un canal de olas, encontrándose una altura de ola de diseño de 5 mts.

El estudio realizado en este modelo, permitió la eliminación del material componete de la Corona, dado que se presentaba una ración mínima, obteniendo con ello considerables ahorros de orden económico.

Para finalizar se realizó el cálculo de los rompeolas Oeste y Este, obteniéndose los volúmenes de coraza, subcopes, y núcleo.

En un caso se consideró la estructura en su totalidad -- tomando en cuenta el volumen generado por la corona. Para el otro caso no se le consideró.

De los resultados obtenidos, se hace una comparación, -- del ahorro en porcentaje de las dos alternativas llevadas a cabo,

CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO DE ROMPEOLAS DE TALUD

C A P I T U L O

I

I-1 Generalidades

Un rompeolas es una estructura que protege contra las olas a una área costera, puerto, bahía o un atracadero. - En el caso de la navegación, se construyen para crear calma y dar protección logrando seguridad de atraque, operación y manejo de barcos.

Las rompeolas se pueden clasificar de dos maneras:

- a) En cuanto a los materiales que lo componen
 - b) De acuerdo a su posición que ocupan en la costa.
- a) Los materiales que componen un rompeolas pueden ser de taludes de enrocamiento, compuestos, cajones de concreto, células de tabla estacas ó simplemente cajas. Cuando se trata de rompeolas que se construyen en mar abierto por lo regular son de enrocamiento. En algunos casos, - en las estructuras compuestas se han empleado corazas de concreto ó elementos de concreto precolado tales como: Tetrapódos, cuadrípodos ó tribarras.

Cuando se construyen en los grandes lagos se utilizan cajones de madera, acero ó concreto, sin embargo en zonas bajas se han contruido rompeolas de una hilera de pilotes de madera ligados ó de una ataguía de tablas estacas de acero. También en algunos casos se han diseñado y experimentado rompeolas flotantes, sin que hasta el momento se encuentren funcionando.

Las rompeolas de talud de enrocamiento están formados por materiales graduados, los cuáles van en orden ascendente (peso), desde el núcleo hasta la coraza (Capa principal que soporte la fuerza producida por las olas). tienen la facilidad de adaptarse a cualquier profundidad de agua y se pueden construir sobre cualquier tipo de suelo. Existen otras ventajas como son:

Los daños son facilmente reparables y los asentamientos de la estructura ocasionan un reacomodo de los elementos que lo componen, incrementando su estabilidad.

Coraza con Elementos de Concreto Precolado

En la rompeolas de talud, cuando no se dispone económica de roca en cantidades y tamaños adecuados, se emplean formas geométricas construidas de concreto. Entre ellas se encuentran: El cubo, tetraedro, tetrapodos, tribarras, cuadrípodos y el DOM.

Los tetrapodos son formas totalmente de concreto, que tiene un corazón ó núcleo central, del cual salen cuatro patas cónicas truncadas. Su ventaja; es la tendencia a interconectarse, trabarse y como consecuencia a proporcionar mayor estabilidad mediante un peso menor, con taludes más inclinadas y menor volumen de material.

Tribarra es un elemento de concreto sin refuerzo, consiste en tres barras ligadas entre sí por tres brazos radiales. el cuadrípodos es un elemento de concreto sin refuerzo, compuesto por cuatro patas, tres de las cuales están en mismo plano y son radiales a un punto central.

Una forma de consolidar el núcleo y la coraza ha diferentes profundidades, ha sido mediante el empleo de concreto asfáltico caliente, por medio de inyecciones entre los huecos de la roca. con un tratamiento final a base de una lechada asfáltica para sellar la superficie.

Este tipo de rompeolas compuesto, ha sido un proceso que en los E.U.A. relativamente ha fracasado. Sin embargo los Holandeses han tenido buenos resultados como sucede con la escollera norte en Lake Worth.

b) En cuanto a la posición que ocupan en la costa, se agrupan en :

- 1.b) Paralelos a la costa
- 2.b) Ligados a la costas

Paralelos a la costa, es una estructura diseñada para proteger una área de la acción del oleaje, proveer a una zona de relativa calma, e inclusive son un medio adecuado para la intercepción total de material.

Inicialmente la arena se deposita sobre la playa en el lado de sotavento al disipar la fuerza del oleaje causante del transporte. Conforme se deposita, se forma una saliente de la costa en la zona de aguas tranquilas en la parte posterior del rompeolas. En este caso la línea de la playa actúa como espigón, originan-

do el avance de la línea de la costa.

Ligados a la costa

En este caso los rompeolas se utilizan básicamente para darle protección a los puertos, bien se trate de puertos naturales (Acapulco, puerto turístico) ó puertos artificiales (Veracruz, puerto comercial). Estas estructuras por lo regular son diseñadas a base de enrocamiento, tomando en cuenta la fuerza producida por el oleaje, que incide sobre la estructura.

El factor más importante para localizar un rompeolas consiste, en determinar el lugar óptimo en el cuál se formará una área portuaria con un mínimo de agitación durante la mayor parte del año. Esta determinación se lleva a cabo por medio de los análisis de refracción y difracción. Otros factores relacionados con la localización son: La dirección del transporte litoral, el área portuaria que se logrará por medio de la localización del rompeolas y las características de la profundidad del material del fondo

I-2 Efectos del Oleaje

Las olas generadas por viento producen fuerza a la cuál se encuentran sujetas las estructuras costeras. Un rompeolas expuesto a la acción del oleaje debe diseñarse para soportar los efectos de la ola máxima si su diseño se justifica económicamente.

La fuerza que incide sobre los rompeolas, puede ser debida a las olas rotas, olas en rompiente ó al ataque de olas antes de romper. Se ha establecido, que cuando se diseña en rompiente se desprecian a las olas más grandes que rompen antes de llegar a la estructura, considerando que la fuerza máxima se deberá a olas que rompen sobre dicha estructura.

Los estudios que ha realizado hedar permiten establecer, que la ola rompiente empieza a efectuar su proceso de rompimiento en una longitud que se extiende de 6 a 7 veces la altura de la ola, y ha recomendado que cuando la profundidad de diseño (d) sea menor igual que $1.30 H_{10}$ se utilice una ola rompiente de $H_6 = 0.78 d$, siendo H_{10} el 10% de la altura mayor de todas las olas registradas.

En el caso de México se cuenta con estadísticas del oleaje para aguas profundas, por ellos es necesario aplicar un análisis de refracción para conocer las características del oleaje en el sitio de la estructura, así como un estudio debido a la fricción de fondo; donde la plataforma continental es poco profunda.

Para determinar la altura de la ola significativa (Al-
tura promedio del tercio superior de todas las olas) donde -
ésta se ha generado, ha sido necesario conocer la velocidad -
del viento en el área de estudio , así como su duración y la
longitud del área sobre la que ha actuado (Fetch). Desde -
hace algún tiempo se ha realizado unas gráficas que nos permi
ten resolver estas interrogativas de una manera más fácil.

Para saber si la área en estudio se encuentra en a -
guas profundas es necesario que la relación (d/L sea mayor ó
igual que 0.50), siendo d la profundidad promedio en el área
de estudio y L la longitud de la ola. Cuando se trata de a --
guas reducidas la relación d/L debe ser menor 0.50 y como ha-
bíamos dicho la altura de la ola se verá afectada por los coe
ficientes de refracción y factor de fondo reducido.

La celeridad de la ola queda definida como:

$$c^2 = \frac{gl}{2\pi} \tan \text{hip } 2\pi d/L$$

Siendo: c (celeridad de la ola)
 g (aceleración de la grave-
dad)
 d (profundidad promedio del
lugar en estudio)
 π (Valor adimensional, núme-
ro de veces que cabe el
diámetro dentro de su --
circunferencia)

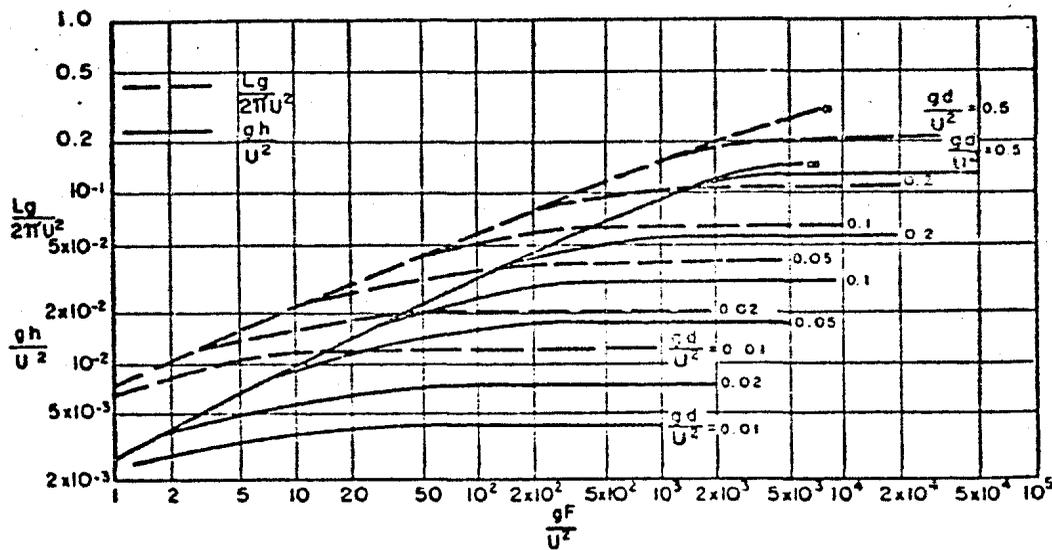
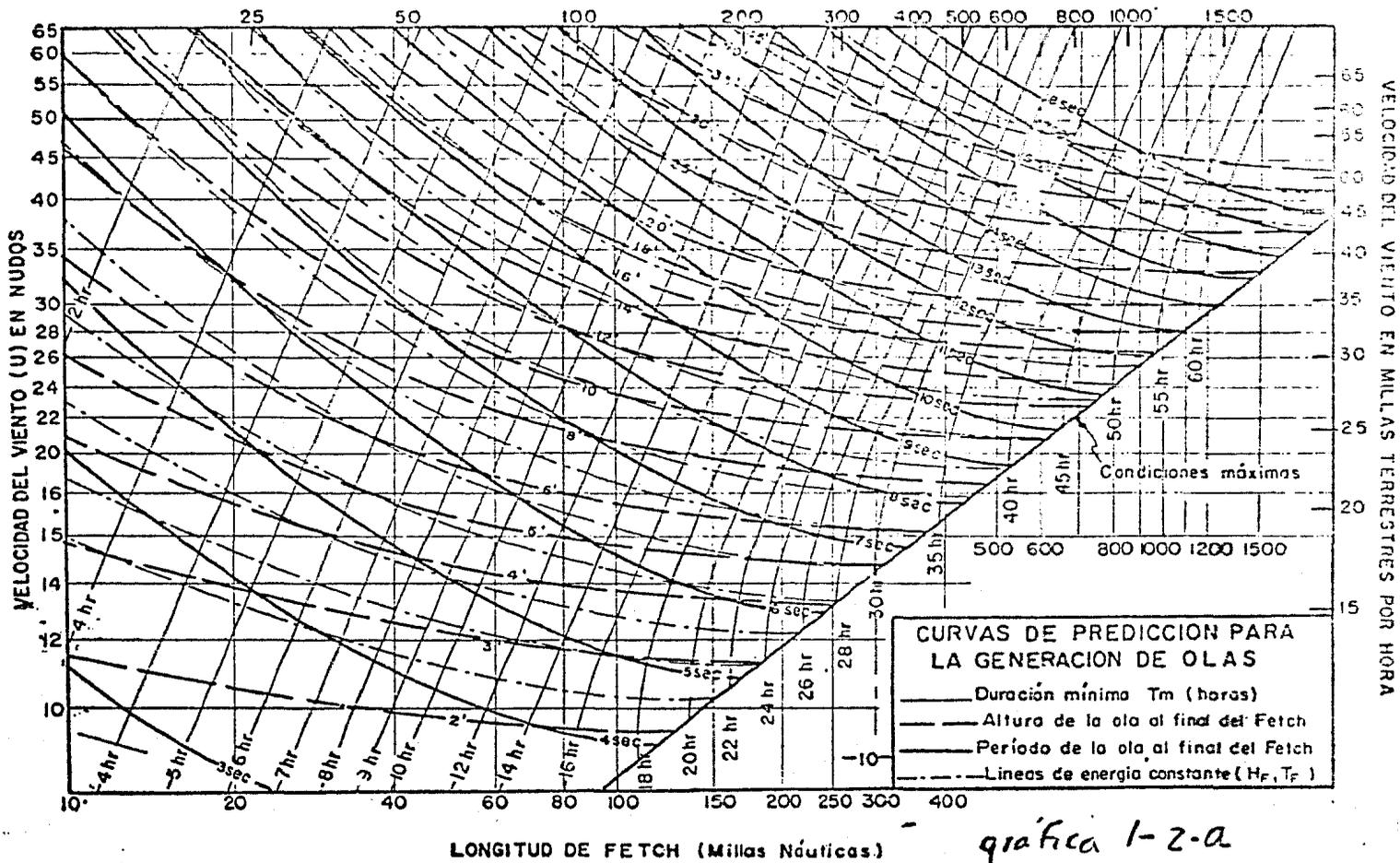
Si la relación $d/L \geq 0.50$ el término $\tan \text{hip } \frac{2\pi d}{L}$ --
tiende a ser uno implicando que $c^2 = \frac{gl}{2\pi}$; ahora bien si hace -
mos que $\frac{d}{L}$ tiende a cero entonces $c^2 = \frac{gl}{2\pi} \frac{2\pi d}{L} = gd$, definien-
dose la celeridad para aguas profundas y reducidas respectiva-
mente.

Mediante un ejemplo veremos el empleo de la gráfica
(1-2.a) que antes mencionamos. Supongamos que tenemos una -
velocidad del viento de 40 nudos, con una duración de 10 hrs,
profundidad de 300 ft y una longitud dentro del área de estu-
dio de 200 millas náuticas.

Para proceder a su solución entremos con 40 nudos -
de velocidad sobre el lado izquierdo de la gráfica; ahora --
bien ésta se interceptará con la curva que encuentre primero,
en este caso será la que marca $t=10$ hfs; dándonos los siq
uientes resultados:

$$d = 300 \text{ ft (profundidad promedio en el área de estu- } \\ \text{dio)}$$

LONGITUD DE FETCH (Millas Terrestres)



CRECIMIENTO DE LAS OLAS EN PROFUNDIDADES BAJAS

gráfica 1-2.b

$H_p = 18$ ft (altura de la ola significativa)

$t_p = 10$ seg (período mínimo de duración)

$t_n = 10$ hrs. (duración del viento)

$R_m = 200$ millas náuticas (longitud de área en estudio)

$L = 5.12 t_p^2 = 5.12 (10)^2 = 512$ ft (longitud de la ola)

$$C^2 = \frac{g L}{2 \pi} \tan h \frac{2 \pi d}{L} = \frac{(9.81 \text{ m})^2}{2} \frac{(156.05 \text{ m})}{(2)} \tan h \frac{(2)}{(3.1416)}$$

(2) $\frac{(3.1416)(91.44)}{156.05} \text{ m}$

$C = 15.6$ m/seg.

De la solución del problema podemos concluir, que se trata de un estudio de aguas profundas, donde d/L es mayor que 0.50, siendo válidos la gráfica y fórmulas antes expuestas.

Cuando se presenta el caso de aguas reducidas el problema se resuelve empleando el método de Thijsse y Schjff, el cual ha sido elaborado por medio de la gráfica (1.2 b) a través de relaciones empíricas. Para ello es necesario conocer la velocidad de viento (U), profundidad promedio (d), así como la longitud en el área de estudio (f). Inmediatamente se procede a determinar las relaciones $g f / U^2$ y $\frac{g d}{U^2}$ (aceleración de la gravedad), con el valor de $g f / U^2$ en el eje de las abscisas, se traza una línea vertical hasta que se intercepte con la curva que le corresponde de $g d / u^2$.

Los valores de gh/U^2 y de $gl/2\sqrt{U^2}$ se determinan en el eje de las ordenadas, para finalizar h y l se puede obtener por un simple despeje.

Ahora bien, hemos mencionado como determinar las características de las olas donde estas se generan, ahora prosigamos con las que rompen sobre las obras de protección, siendo en este caso las rompeolas.

Para determinar la altura y profundidad donde la rompe, se necesita conocer las siguientes relaciones.

$$\frac{hr}{h'} = \frac{1}{3.3 \cdot (h'/L_0)}^{1/3}$$

$$\frac{dr}{h'} = \frac{1.28}{3.3 \cdot (h'/L_0)}^{1/3}$$

Donde h_r , es la altura de la ola rompiente sobre la estructura.

d_r , profundidad de la ola rompiente sobre la estructura
 l_o , longitud de la ola

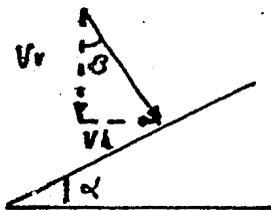
Para determinar h' es necesario conocer la altura la ola en aguas profundas (h_o), y el coeficiente de refracción $\frac{A_o}{A}$, donde éste último se obtiene a partir de los planos de oleaje. Siendo $h' = h_o \left(\frac{A_o}{A} \right)^{1/2}$

Una forma de simplificar el trabajo, es mediante el empleo de las gráficas 1.2.c. y 1.2.d. para su empleo se establece la relación h'/L_o en el eje de las abscisas, después se sigue una línea vertical hasta interceptar la curva, obteniendo en el eje de las ordenadas h'/h' ó d_r/h' según el caso.

I-3 Bases para el cálculo de rompeolas de enrocamiento

Se parte de los métodos de los Ingenieros Ramón Iribarren y Casto Nogales, suponemos que la ola al romper, se transforma en una gruesa vena líquida que incide sobre un plano normal a su trayectoria.

Sea. $v_h = \sqrt{gh/2}$ y $v_v = \sqrt{2gh}$, velocidad horizontal y vertical respectivamente.



$\tan B$ se define como: $\frac{v_h}{v_v} = \frac{\sqrt{gh/2}}{\sqrt{2gh}} = \frac{1}{2}$

Por otro lado sabemos que:

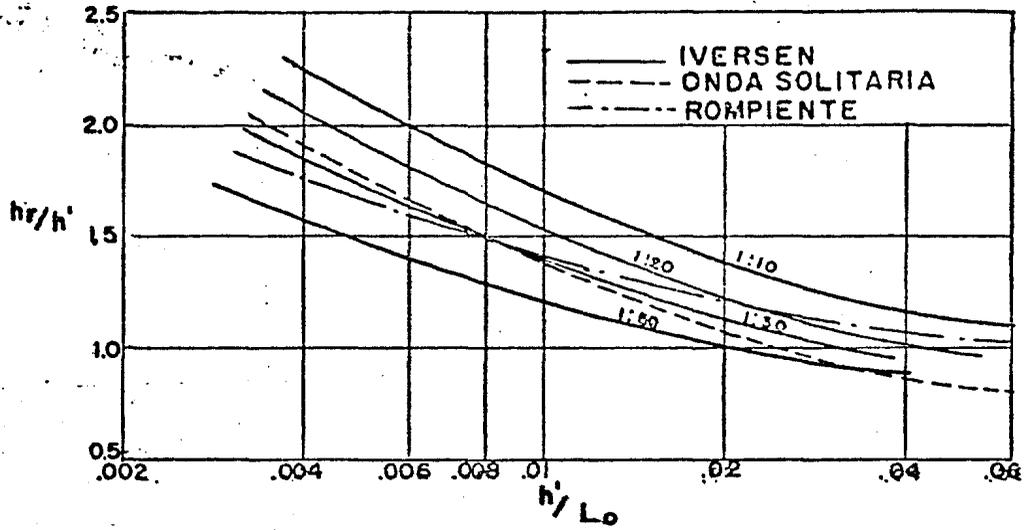
$$v = \sqrt{v_h^2 + v_v^2} = \sqrt{2.5gh} = N_1 \sqrt{gh} \text{ donde } N_1 = \sqrt{2.5} \text{ (a)}$$

Ahora bien, si γ , es el pesos específico del agua, la altura del líquido representativa de la expresión dinámica sobre el canto del revestimiento, se define como:

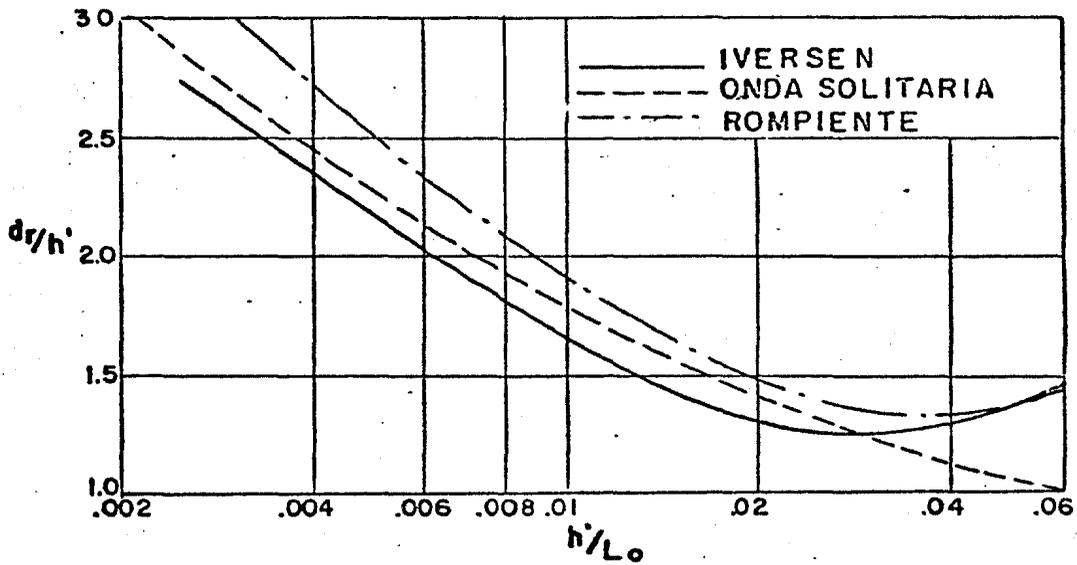
$\frac{p}{\gamma} = C \frac{v^2}{2g}$ (b) siendo C un coeficiente cuyo valor máximo es 2 cuando se pierde la totalidad de movimiento, en este caso el agua pasa a través de los huecos de la primera capa.

- Hagamos: S= sección media del canto
- N_2 = Coeficiente de forma de la roca
- N_3 = N_2 C

gráfica 1-2.c



Indice de altura de ola rompiente



Indice de profundidad de ola rompiente

gráfica 1-2.d

La fuerza de la ola sobre la roca es:

$$F_1 = N_2 \frac{\gamma_1 c v^2}{2g} \quad \text{(c) sustituyendo b en c tenemos } F_1 = N_2 \frac{\gamma_1 c v^2}{2g}$$

$$S = \frac{N_3 \gamma_1 v^2}{2g} \quad \text{S.}$$

El agua al penetrar la segunda capa da lugar a una subpresión sobre la primera capa, que tiende a separar las rocas del rompeolas. Esta fuerza se expresa como:

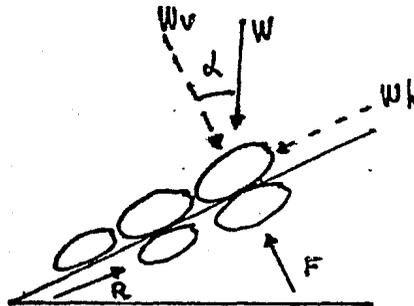
$$F_2 = N_4 \frac{\gamma_1 S V^2}{2g}$$

La fuerza que tiende a levantar la roca vale.

$$F = F_2 - F_1 = N_5 \gamma_1 \frac{S V^2}{2g} \quad \text{con } N_5 = N_4 - N_3 \text{ pero } V_2 = N_1 \sqrt{gh}$$

$$\text{Entonces } F = N_5 \gamma_1 S \frac{N_1^2 gh}{2g} = N_6 \gamma_1 S h \quad \text{donde } N_6 = \frac{N_5 N_1^2}{2}$$

Ahora analicemos una componente de la 1a. capa, para ello veamos el siguiente esquema:



W_h , componente tangencial del peso W

W_v , componente normal del peso W

R , fuerza resistente originada por fricción entre las rocas.

tenemos que: $R = (W_v - F) u$

Si consideramos, que el ángulo de reposo del enrocamiento se aproxima a 45° entonces:

$$u \approx \tan 45^\circ \approx 1, \text{ cuando } R = W_v - F \therefore W_h \leq R$$

Donde se define W_h como: $W \sin \alpha = W_u - F = W \cos \alpha - N_6 \gamma_1 S h$ (d)

Por otro lado si consideramos que:

1, es la dimensión de la roca.

γ , peso específico del material.

Entonces el peso de la roca sumergida es:

$W = N_7 1^3 (\gamma - \gamma_1)$, N_7 depende de las formas de la roca.

La superficie que presenta la roca es; $S = N_8 1^2$.

Sustituyendo estos valores en (d), se tiene

$$N_7 1^3 (\gamma - \gamma_1) \text{ sen } \alpha = N_7 1^3 (\gamma - \gamma_1) \text{ cos } \alpha - N_6 \gamma_1 N_8$$

Dividiendo entre 1^3 y despejando, $1 = \frac{N_6 N_8 \gamma_1 h}{N_7 (\text{cos } \alpha - \text{sen } \alpha)}$ --

$$\frac{1}{(\gamma - \gamma_1)} \quad (e)$$

El peso de la roca sin sumergir es; $P = N_7 1^3 \gamma$, sustituyendo (e) en esta ecuación

se tiene
$$P = \frac{N_7 N_6^3 N_8^3 \gamma_1^3 h^3 \gamma}{N_7^3 (\text{cos } \alpha - \text{sen } \alpha)^3 (\gamma - \gamma_1)^3} = \frac{N_a \gamma_1^3 h^3 \gamma}{(\text{cos } \alpha - \text{sen } \alpha)^3}$$

$$\frac{1}{(\gamma - \gamma_1)^3} \quad \text{con } N_a = \frac{N_6^3 N_8^3}{N_7^2}$$

dividiendo entre γ_1^3

$$P = \frac{N_a \gamma h^3}{(\text{cos } \alpha - \text{sen } \alpha)^3} \left(\frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_1} \right)^3$$

$d = \frac{\gamma}{\gamma_1}$ y $N = N_a \gamma_1$ La densidad relativa de la roca respecto al agua es;

Finalmente

$$P = \frac{N d h^3}{(\text{cos } \alpha - \text{sen } \alpha)^3} (d-1)^3$$

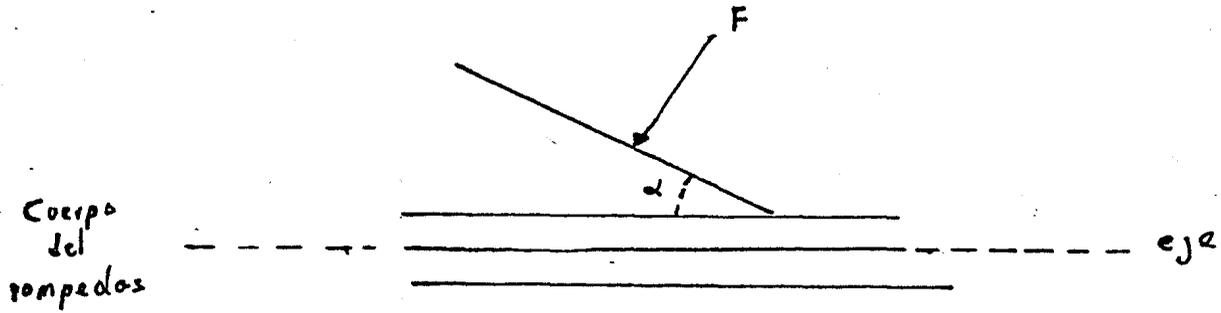
Fórmula que permite obtener el peso de las rocas en función de la altura de la ola, talud y peso específicos del material y del agua.

Los valores de N según el autor son:

- $N = 0.015$ en bloques naturales
- $N = 0.019$ en bloques artificiales

En este caso el peso de la estructura fue obtenido, considerando que la fuerza del oleaje es perpendicular al eje de la estructura.

Analicemos cuando la ola formando en ángulo con respecto al eje



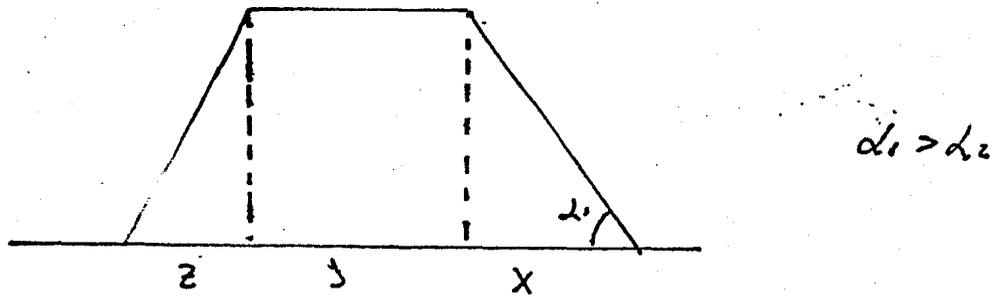
Sobre cierta longitud de la cresta A se dispone de una energía E, que en el caso anterior tiene una longitud L_1 , y en este caso tiene una longitud L_2 , siendo $L_2 > L_1$,

$$\cos \alpha = \frac{L_1}{L_2} \therefore L_1 = L_2 \cos \alpha . \text{ Esto implica que el rompedor}$$

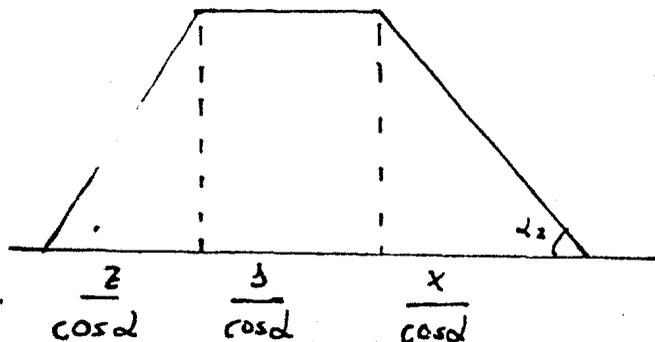
tiene que absorber menor energía por unidad de longitud.

De todo esto podemos concluir que la sección de la obra que se opone en cada caso es:

Ola perpendicular al eje de la estructura



Ola formando un ángulo con respecto al eje de la estructura



Al haber disminuido el ángulo α , el peso de las rocas también disminuirá para resistir la altura de la ola h . A medida que α crece, α_2 disminuye teniendo la obra un talud más tendido y mejores condiciones de estabilidad.

Existen otros criterios para establecer el peso de los elementos de la coraza a continuación mencionaremos los siguientes

a) Criterio de Mathews

Establece la siguiente fórmula conservando la connotación anterior.

$$W = 0.00149 \frac{h^2 t s}{(\cos \alpha - 0.75 \sin \alpha)^2 (s-1)^3}$$

Donde:

T Período del oleaje en segundos.

b) Espstein y T y RRel presentaron en el congreso internacional de Navegación en 1949, la siguiente fórmula:

$$W = \frac{kt h^3 s}{(s-1)^3 (u - \tan \alpha)^3}$$

Siendo:

kt = coeficiente función de α , u , d/L

u = coeficiente de fricción entre elementos, considerado uno

c) Hudson presentó lo siguiente:

$$W = \frac{H^3 \gamma}{k_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$

En donde:

k_D = coeficiente de estabilidad

$S_r = \gamma_r / \gamma_w$

El coeficiente k_D toma en cuenta algunos factores como: Número de capas en la coraza, forma de las unidades, grado de trabazón, tipo de ola incidente.

Si se acepta algún daño a la coraza, se pueden usar valores de k_D mayores, dado que el presentarse hundimientos en la estructura, y al reacomodarse estas unidades dan una estructura más estable que la original.

Se han llegado a determinar valores de K_D en función del porcentaje de daños, que unidos a datos estadísticos referentes a la frecuencia de ocurrencia de oleaje de distinto tamaño, determinarán el costo anual de mantenimiento en función del daño.

Coefficiente de estabilidad K_D , para un criterio sin daños y sobre elevación mínima.

UNIDAD	COLOCACION	ROMPIENTE	CUERPO	KD	MORRO	KD	TALUD	COT
			OLEAJE	No.	ROMPIENTE	ROMPIENTE		
Roca								
Lisa redonda	3	al azar	2.80	3.20	2.10	2.30	1.0-1.50	
Rugosa angular	3	" "	3.90	4.50	3.70	4.20	1.0-1.50	
Tetrápodo y cuadrípodo	2	" "	7.20	8.30	5.90 5.50 4.0	6.60 6.10 4.40	1.50 2.0 3.0	
Hexápodo	2	" "	8.20	9.50	5.0	7.0	1-3	

A continuación se presentan los valores de K_D en función del daño de la estructura:

H es la altura de la ola correspondiente al daño, $H_D = 0$ representa la altura de la ola correspondiente a un daño de 0 a 5%
% De daño

UNIDAD		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50
Roca Lisa	$H/H_D=0$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
	K_D	2.40	3.0	3.60	4.10	5.10	6.70	8.70
Roca Rugosa	$H/H_D=0$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	K_D	4.00	4.90	6.60	8.0	10.0	12.40	15.0
Tetrápodos y Cuadrípodos	$H/H_D=0$	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K_D	8.30	10.80	13.40	15.90	19.20	23.40	27.80
Tribarra	$H/H_D=0$	1.00	1.11	1.25	1.30	1.50	1.59	1.64
	K_D	10.4	14.20	19.40	26.20	35.20	41.8	45.90

valores de $n=2$, para el cuerpo, oleaje no rompiente, colocación al azar y elevación mínima

Una vez que hemos establecido las características principales de las rompeolas de talud, procederemos a ejemplificar algunos criterios de los autores mediante un problema.

Se pretende construir un rompeolas de enrocamiento en una zona litoral donde la densidad del agua es 1025 kg/m^3 , la profundidad del agua es de 10 mts., abajo del nivel de baja-mar media y con una amplitud de marea de 1.50 mts.

La altura de la ola que rompe sobre la estructura es de 4.50 mts. y la roca tiene una densidad de 2650.00 Kg/m^3 .

Como primer paso procederemos a resolver el problema -

para el criterio de Iribarren, considerando un ángulo $\alpha=20^\circ$

$$W = \frac{Ndh^3}{(\cos\alpha - \text{sen}\alpha)^3 (d-1)^3} ; \quad W = \frac{0.015 \left(\frac{2.65}{1.015}\right) (4.50)^3}{(\cos 20^\circ - \text{sen} 20^\circ)^3 \left(\frac{2.65}{1.015} - 1\right)^3} = 4.15 \text{ ton}$$

$N = 0.015$ (bloques naturales)

Hudson establece la siguiente formula

$$W_2 = \frac{H^3 \gamma_1}{k_d (S_1 - 1)^3 \cot \alpha} = \frac{(4.50)^3 (2.65)}{2.80 \left(\frac{2.65}{1.015} - 1\right)^3 \cot 20^\circ} = 7.87 \text{ ton}$$

$K_d = 2.80$ (oleaje rompiente)

criterio sin daño sobre
el cuerpo de la estructura

Ahora bien si consideramos un ángulo de 30° tendremos los siguientes resultados, si las condiciones originales del problema no cambian.

c) Método de Iribarren

$$W = \frac{0.015 \left(\frac{2.65}{1.015}\right) (4.50)^3}{(\cos 30^\circ - \text{sen} 30^\circ)^3 \left(\frac{2.65}{1.015} - 1\right)^3} = 18.08 \text{ ton}$$

b) Método de Hudson

$$W = \frac{H^3 \gamma_1}{k_d (S_1 - 1)^3 \cot \alpha} = \frac{(4.50)^3 (2.65)}{(2.80) \left(\frac{2.65}{1.015} - 1\right)^3 \cot 30^\circ} = 12.59 \text{ ton}$$

$K_d = 2.80$ oleaje rompiente sobre el cuerpo de la estructura (con un criterio sin daños).

En el ejemplo que hemos establecido, haciendo uso del criterio de dos autores podemos decir; que conforme aumenta el ángulo de inclinación de talud se incrementa el peso de los elementos de la estructura. Ya que para obtener más estabilidad se necesita elementos más pesados que soporten el empuje de las olas, óbrén taludes más tendidos con estructuras más ligeras. Conforme los elementos son más uniformes, el volúmen de vacios es mayor con una mayor absorción de energía. En los estudios de rompeolas será necesario un análisis económico -- que determine, la conveniencia de taludes de enrocamientos o de elementos prefabricados, según la disponibilidad de material, importancia del sistema o existencia del material de la región. Hay que mencionar que en algunos casos es conveniente diseñar la estructura para un porcentaje de daños, con un mantenimiento y reparación constante, recordando que en algunos casos es preferible que una estructura disipe la energía del oleaje y no la resista.

1-4 DETALLES ADICIONALES DE DISEÑO.

Hemos establecido mediante un ejemplo, el peso de los elementos de la capa principal, que soporta el empuje de las olas en rompiente, según el criterio de los diferentes autores.

Ahora bien, para dimensionar la estructura en su totalidad se necesita conocer los siguientes conceptos, los cuales presentamos a continuación.

- a).- El espesor de la capa, la porosidad, número de elementos de la coraza.
- b).- La profundidad bajo nivel de bajamar, hasta la cual los elementos de la coraza de un peso W, deberán colocarse.
- c).- Los requisitos de estabilidad de lado de sota viento.
- d).- Los pesos de los elementos de la coraza secundaria.
- e).- El peso y espesor de las capas de roca bajo la primera capa, para asegurar la mínima sub-presión sobre los elementos de la coraza, evitando salidas de material a través de los vacíos.
- f).- La necesidad de una base o capa filtro según las condiciones de cimentación.
- g).- Elevación y ancho de la corona.
- h).- *Módulo* de la estructura.
- i).- El espesor de la capa y el número de elementos requeridos para su construcción, se puede calcular por medio de las siguientes formulas.

$$r^2 = n k_0 (w/w_r)^{1/3}$$

$$N_r = A n k_0 (1 - P/100) (w_1/w)^{2/3}$$

donde:

- r= espesor de la coraza en piés
- A= número de elementos de la capa de la coraza
- W= peso de los elementos de la coraza
- W_r= peso volumétrico de los elementos de la coraza
- N_r= número necesario de elementos de la coraza para una determinada superficie A.
- K₀= coeficiente de capa
- p= porosidad media en porcentaje.

Existen unas tablas que nos permiten determinar el coeficiente de capa y la porosidad para diferentes elementos de la -

coraza, a continuación la presentamos:

Elementos	n	Colocación	Ko	Porosidad%
Roca	2	al azar	1.0	38
Roca	> 3	" "	1.0	40
Cubo mod.	2	" "	1.10	47
Tetrápodo	2	" "	1.0	50
Cuadrápodo	2	" "	1.0	50
Exápodo	2	" "	1.15	47
Tribarra	1	Uniforme	1.0	54

b).- ELEVACION DEL FONDO DE LA CORAZA

Los elementos de la primera capa de la coraza, se deben colocar, hasta una profundidad de bajamar, igual a una altura de la ola H , cuando la estructura está a una profundidad mayor que un $1.50 H$. En el caso de profundidades menores a $1.30 H$ los elementos de la coraza deben ir hasta el fondo.

c).- TALUD POSTERIOR

El diseño del talud posterior en una estructura de enrocamiento se basa, en la cantidad de roci6n, en las condiciones de oleaje, en la porosidad de la estructura y en la sub-presi6n.

Si la corona se encuentra en una elevaci6n donde no se presenta roci6n, el peso de los elementos del talud posterior depende de la acci6n del oleaje de menor intensidad y de la porosidad de la estructura. Cuando hay roci6n sobre la corona los elementos de la primera capa se deben prolongar sobre el talud posterior hasta el nivel de bajamar.

d).- CAPA SECUNDARIA

El peso de los elementos de la capa secundaria hasta -- profundidades entre $- H$ y $- 1.50 H$, deber6 ser igual o mayor que la mitad del peso de los elementos de la primera capa y bajo $- 1.5 H$ el peso requerido puede reducirse a $W/15$, cuando la estructura se encuentra en aguas reducidas ($d \leq 1.3 H$); los ele-- mentos de la coraza deber6n abarcar toda la altura de la estruc

tura.

e).- SUB-CAPAS

A partir del fondo de la capa protectora de la corona hasta $-1.50 H$, la primera sub-capa deberá estar compuesta por dos capas ($n=2$), con un peso $W/10$. La segunda sub-capa; para la parte de la estructura que queda arriba de $-1.50 H$, deberá estar formada por un mínimo de 2 capas que pesen $W/200$.

Para aquella parte de la estructura que quede abajo de $-1.50 H$, estará formada por una primera sub-capa con un mínimo de dos capas con un peso de $W/300$. La segunda sub-capa -- abajo de $-1.50 H$, así como el núcleo puede estar formado de un material con un peso $W/6000$.

f).- CAPA EN EL FONDO O FILTRO

Una estructura de enrocamiento puede protegerse de un gran asentamiento, resultado de la erosión o socavación, usando una capa o carpeta filtro o una tela plástica.

Es recomendable emplear una cama o carpeta filtro para proteger la cimentación de las estructuras en los siguientes casos:

f.1).- En aquellos lugares donde las profundidades sean mayores que dos veces la altura máxima de la ola.

f.2).- Donde se prevea que la velocidad de las corrientes será menor a la necesaria para desplazar el tamaño medio del material empleado en la cimentación.

f.3).- Donde el fondo está formado por un material duro.

Cuando la estructura de enrocamiento se construye sobre un suelo de arena, se provee de capa filtro para evitar que la acción del oleaje y de las corrientes en el fondo, remuevan la arena a través de los vacíos, originándose asentamientos.

Los requisitos de graduación de una cama dependen de las características del litoral y de las condiciones del suelo. Por lo general es suficiente con rocas de 0.454 Kgs. a 23 Kgs.

El espesor mínimo es de 30 cms. y la base es recomendable que se prolongue hasta 1.50 m. después de la coraza.

g).- ELEVACION Y ANCHO DE LA CORONA

La sobre elevación del oleaje depende de la cantidad de huecos de la coraza, es por ello que la elevación de la corona, deberá ser la menor posible que proporcione la protección requerida.

El ancho de la corona depende del grado de rociación admisible. El ancho práctico que recomiendan en condiciones de rociación o no rociación, corresponde al ancho de 3 rocas, basándose en esto, este ancho se puede obtener por medio de la siguiente ecuación.

$$B = N k_o (W/W_1)^{1/3}$$

Donde:

- B= Ancho de corona en metros
- N= Número de rocas ≥ 3
- k_o = coeficiente de capa
- W= Peso del elemento de la coraza en Kgs. (capa)
- W_1 = Peso unitario del material para los elementos de la coraza, Kg/m^3 .

Hay que considerar que la corona debe tener un ancho mínimo para el equipo de construcción y mantenimiento. A continuación presentamos unos esquemas, que basados en la información anterior nos proporcionan una idea más clara de los diferentes pesos de los elementos que componen la estructura. Estos esquemas nos muestran los casos teóricos y prácticos así como su relación con aguas profundas y aguas bajas.

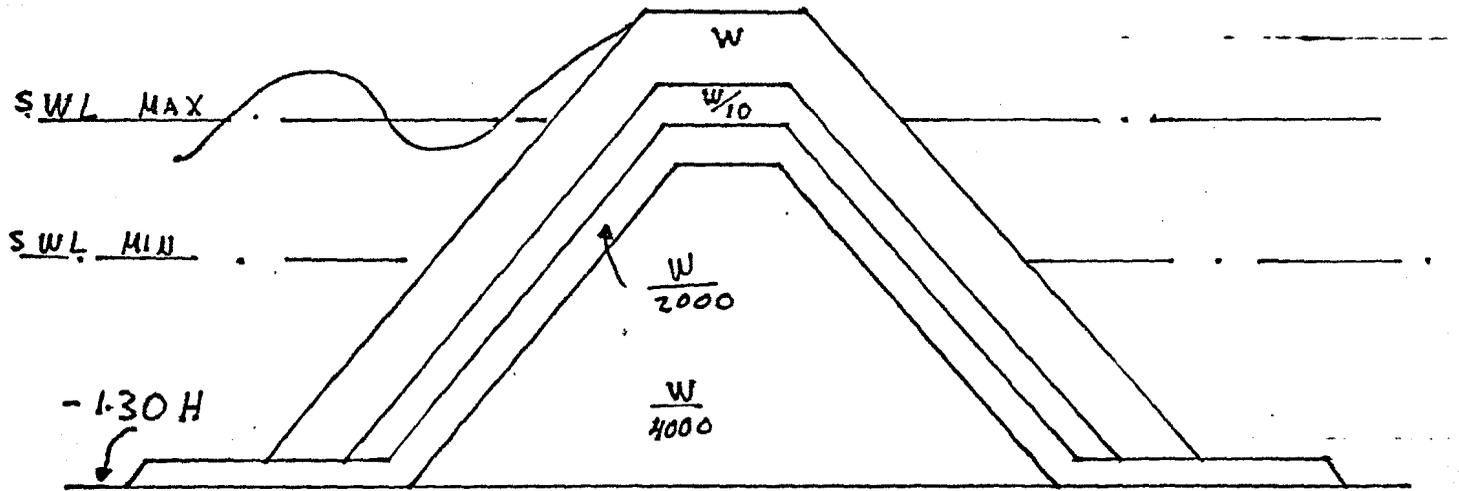
H). Morro de la estructura.

A través de estudios que se han realizado, se ha observado que la estructura sufre más daños del lado de puerto, que del lado del ataque directo del oleaje.

Se ha experimentado, que en taludes con mayor pendiente hacia el lado de mar y menor a el lado de puerto, son más estables que la sección cónica simétrica como la del tronco de la estructura.

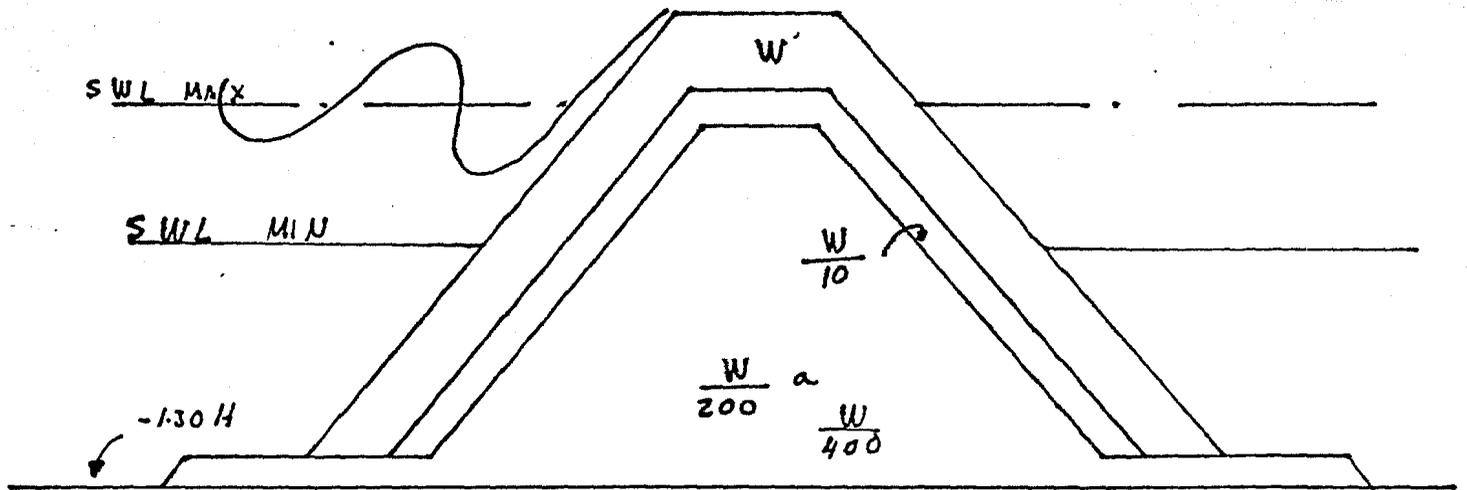
En la actualidad no existe método para diseñar los morros de los rompeolas, algunos autores establecen, que se debe incrementar el peso entre un 50% a un 100% para la capa principal de la coraza.

Sección de un rompeolas en aguas bajas



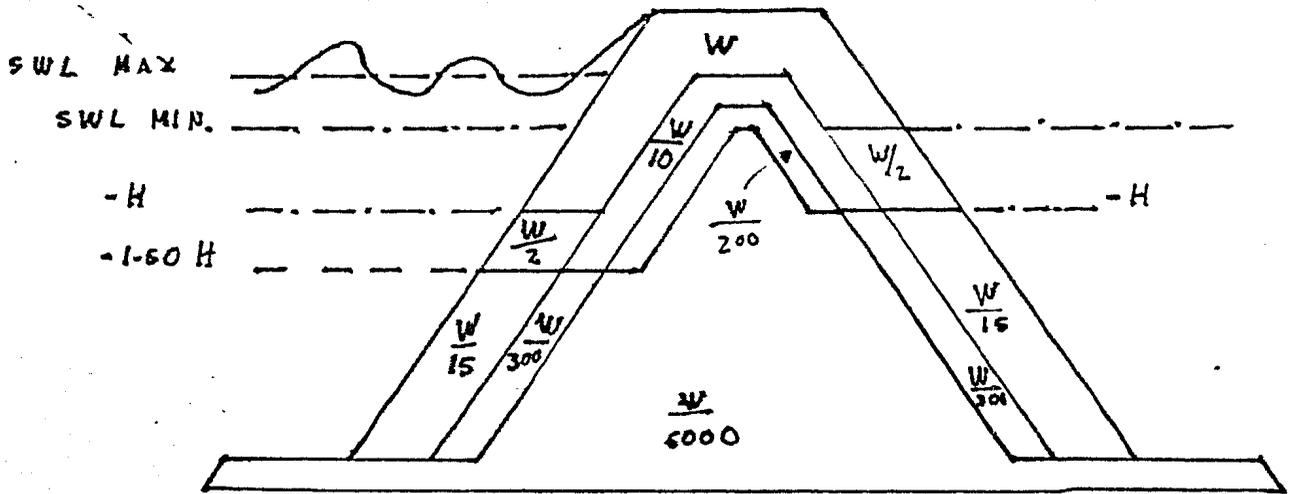
Sección teórica

Rompeolas (práctico)



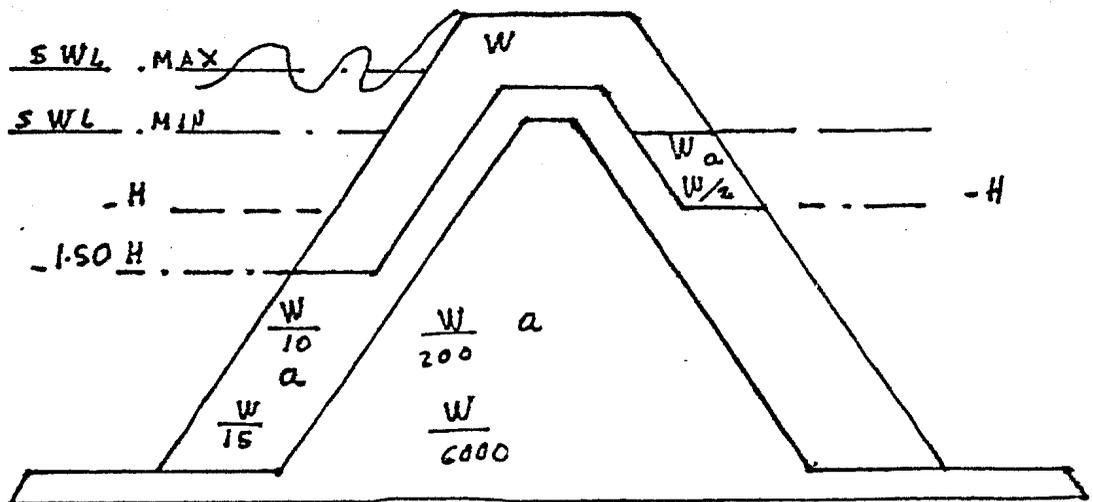
Profundidades ≤ 1.30 altura de las olas

ROMPEOLAS PARA AGUAS PROFUNDAS



Sección teórica

Recomendación práctica



CAPITULO II.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS VENTAJAS EN LA REDUCCION DE CORAZA.

II-1. Generalidades

En el diseño de obras de defensa para protección de puertos, es posible que se presenten temporales provocando alturas de ola, que ponen en peligro la seguridad de los mismos.

Un régimen de temporales, puede establecer la probabilidad de excedencia de la altura de la ola de una intensidad dada, asociando a este temporal un período de retorno.

En la siguiente figura (2.1 a), se muestra en el eje de las ordenadas la intensidad del temporal, definido por H_s (promedio del tercio mayor de las olas registradas en el sitio de la estructura, considerando 300 olas en estudio) en metros, y en el eje de las abscisas (parte inferior) la probabilidad $f(H_s)$ de que no sea excedida por la altura del oleaje registrado en el área de protección, asociando en la parte superior el período de retorno, éste último también se puede calcular con la relación:

$$T = \frac{1}{1-F(H_s)}$$

Ahora bien, nos encontramos ante dos alternativas, si la altura de la ola de diseño, es realmente pequeña, la probabilidad de que se presente un temporal superior, es grande, y aumenta el riesgo de que la obra sea dañada durante su vida previsible. Por el contrario, si aumentamos la altura de la ola de diseño, la probabilidad de destrucción disminuye, aunque los costos de construcción son más elevados.

II-2. Criterio de Riesgo

Por el momento pensemos que tenemos un rompeolas proyectado para una vida de N años, con una variable $F(H_s)$, que nos da la probabilidad de que la altura de la ola de diseño no sea excedida. Entonces la posibilidad de que esa altura de diseño no sea excedida en los N años es:

$$F(H_s) \times F(H_s) \times F(H_s) \times \dots \times F(H_s) = F(H_s)^n$$

Sin embargo, la probabilidad de que por lo menos una vez exista un temporal mayor en ese período de tiempo es:

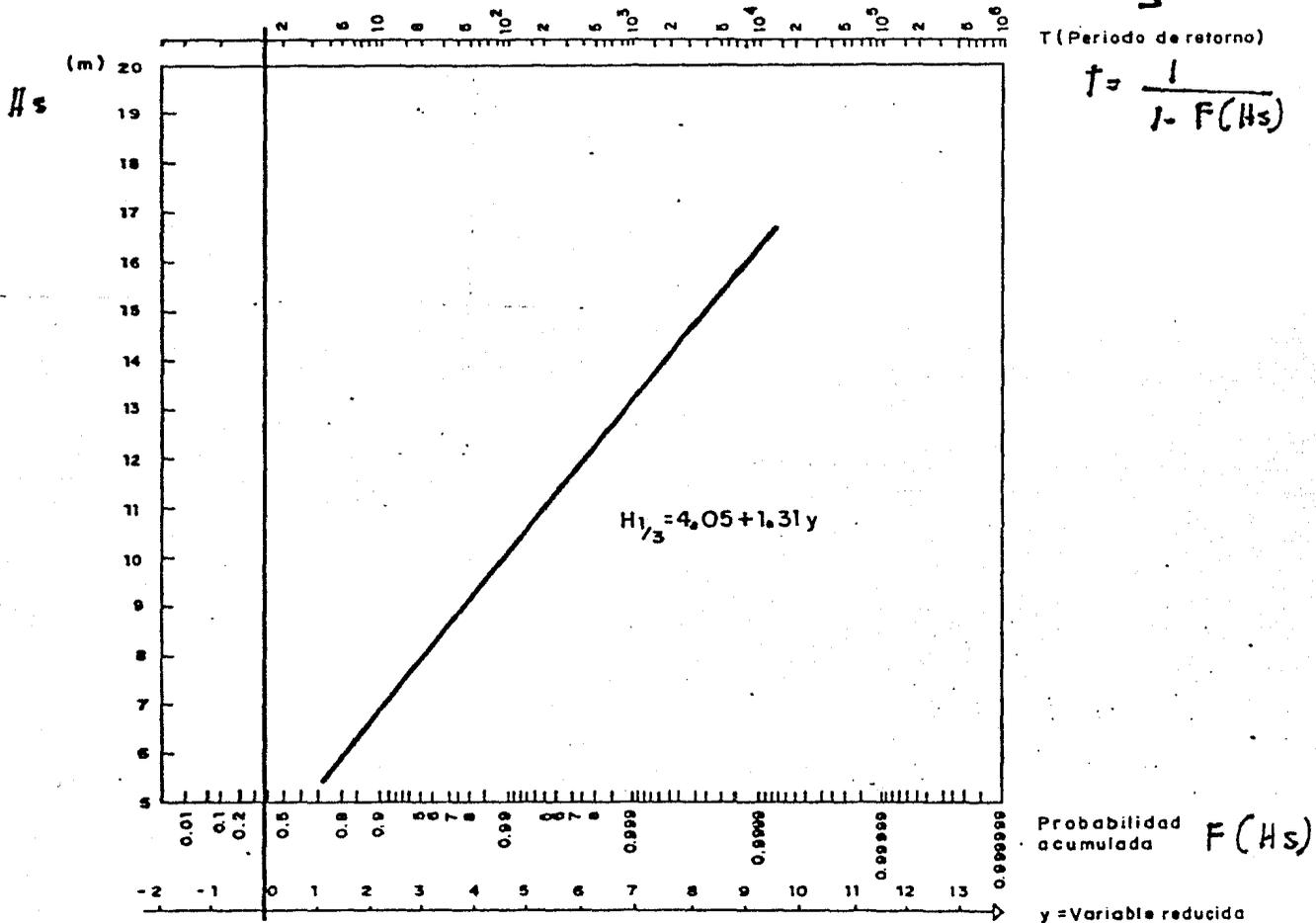
$$E = 1 - F(H_s)^n$$

$$\text{como } F(H_s) = 1 - \frac{1}{T}, \text{ tenemos que: } E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Fig. 195.—Régimen de temporales

PAPEL PROBABILISTICO Asintota-I

Fig 2-1-a



Para determinar mejor esas variables, se han elaborado unas --
tablas que nos permiten encontrar los valores de T en función--
de E y de N (tabla 2.2 b), y los valores de E en función de T y
N (tabla 2.2.a).

En definitiva, en las obras marítimas cada sección que se pro--
yecta aguanta un máximo de altura de ola, recordando que las --
olas mas altas son menos probables que se presenten, pero exis--
te esa posibilidad.

Tabla 2.2a Probabilidad de encuentro o riesgo E, en función de la vida previsible N y del período de retorno T $E = 1 - (1 - \frac{1}{T})^N$

N	T	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400	500
1		0.20	0.10	0.050	0.033	0.025	0.02	0.010	0.005	0.003	0.002	0.002
5		0.672	0.410	0.226	0.156	0.119	0.096	0.049	0.025	0.017	0.012	0.010
10		0.893	0.651	0.401	0.288	0.224	0.183	0.096	0.049	0.033	0.025	0.02
20		0.988	0.878	0.642	0.492	0.397	0.332	0.182	0.095	0.065	0.049	0.039
30		0.999	0.958	0.785	0.638	0.532	0.455	0.26	0.14	0.095	0.072	0.058
40		0.999	0.985	0.871	0.742	0.637	0.554	0.331	0.182	0.125	0.095	0.077
50		0.999	0.995	0.923	0.816	0.718	0.636	0.395	0.222	0.154	0.118	0.095

Tabla 2.2.b Período de retorno, T, en función de la vida previsible N y la probabilidad de encuentro o riesgo E.

N	E	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70
1		50	20	10	5	3	3	2	1
5		248	98	48	23	15	10	8	5
10		495	195	95	45	29	20	15	9
20		990	390	190	90	57	40	29	17
30		1485	585	285	135	85	59	44	25
40		1981	780	380	180	113	79	58	34
50		2475	975	475	225	141	98	73	42

Cualquier solución que adoptemos, siempre existe el riesgo de ser superada. Si deseamos que éste sea muy pequeño se tendrán que construir obras con un costo económico elevado, sin embargo, conviene aclarar que todo depende de la importancia de la obra.

A manera de ejemplo supongamos el dimensionamiento de un rompeolas de talud con un riesgo de 5%, 10%, con una vida previsible de 40 y 50 años.

Deseamos encontrar las alturas de la ola, así como sus períodos de retorno.

Solución.

Para el 1er. caso de 5% de riesgo y 50 años de vida previsible tenemos:

T (período de retorno) = 975 años (tabla 2.1.c)

o bien el empleo de $E = 1 - \frac{1}{T}$, sustituyendo tenemos:

$$0.05 = 1 - \frac{1}{T} \quad 50 = 1 - \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{1 - 0.050} \quad \dots \quad T = \frac{1}{1 - (1 - 0.050)^{50}}$$

con el período de retorno de 975 años, en la gráfica (2.1a) obtenemos el valor de $H_c = 13.07$ m. $F(H_s) = 1 - \frac{1}{T}$

De este primer caso podemos concluir lo siguiente:

La probabilidad de que no se presente una altura de ola mayor que, $H_c = 13.07$ m., es de 99.89% para un período de retorno de 975 años, con una vida previsible de 50 años, y un riesgo de 5% para el caso de riesgos mayores, es de esperarse que la altura de la ola sea menor, al igual que su período de retorno. Si la vida previsible es menor o igual.

2o. Caso.

10% de riesgo y 50 años de vida previsible

T (período de retorno) = 475 años tabla (2.2.a)

H_c 12.12 m. de la gráfica (2.1.a)

3er. Caso

5% de riesgo y 40 años de vida previsible

$T = 780$ años

$H_c = 12.80$ m.

4o. Caso

Riesgo 10%, vida previsible 40 años

$T = 380$ años

$H_c = 11.75$ m.

De los resultados del problema anterior observamos que:

- a) -A medida que aumentamos el riesgo, el cálculo de la altura de la ola disminuye, si conservamos la vida previsible ó la disminuimos. Esto lo podemos ver en el caso (1-2), (3-4).
- b) Si conservamos el riesgo, y aumentamos la vida previsible, con ello estaremos aumentando el valor de la altura de H_ø. casos (3-1), (4-2).
- c) Si aumentamos el riesgo y la vida previsible, puede suceder que disminuya la H_ø como en el caso (3-2), pero también puede suceder lo contrario. Si tenemos primero un riesgo del 5%, con una vida previsible de 20 años, y poco después tengamos un riesgo del 10% con una vida previsible de 50 años, con lo cual tendremos una H_ø. mayor que el primer caso.

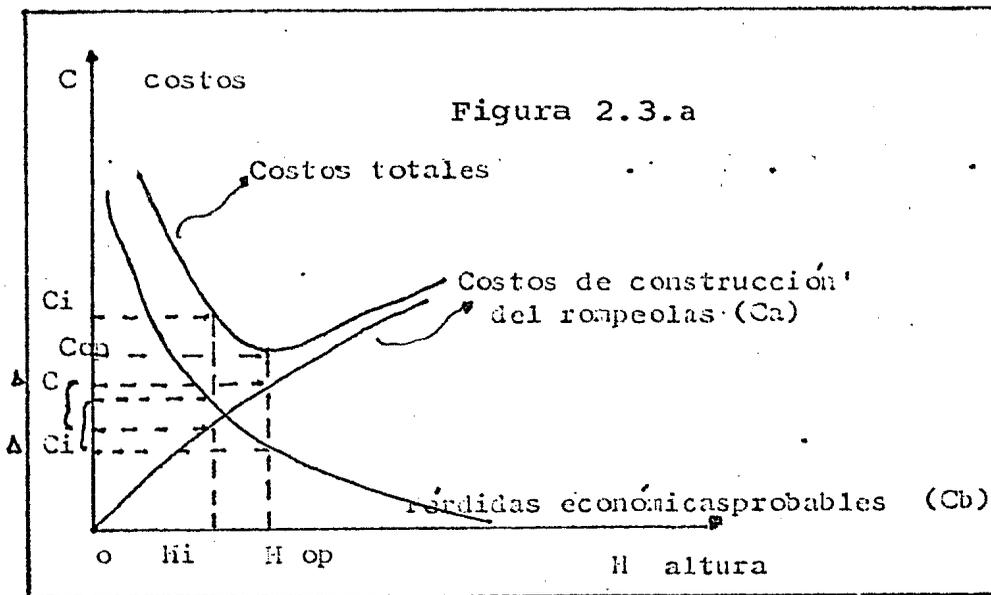
II-3 Consideraciones Económicas

Al diseñar, un rompeolas, se considera óptimo cuando la inversión realizada durante su vida previsible es mínima. La inversión total realizada, es la suma del costo de construcción más el valor de las pérdidas económicas debidas a daños de la obra, incluyendo las reparaciones.

Imaginemos que hemos encontrado la altura de la ola de diseño para un rompeolas de talud. Ahora bien, si reducimos esa altura de diseño, es evidente que a la estructura la abordarán olas mayores, con un determinado porcentaje de daños.

A medida que reducimos esa altura, incrementamos los daños, (como lo menciona Iribarren en la Conferencia XXI de Navegación de Estocolmo) llegando al 100% de daños si la altura de diseño (H_d) es igual a 1.56 de (H_i), siendo H_i la altura de diseño reducida.

En definitiva el costo de construcción de la estructura es directamente proporcional a la altura total de cálculo (H_o), mientras las pérdidas económicas previsibles son función inversa de H_o. En la siguiente figura (2.3.a) mostramos como para una (H_{op}) dada, encontramos que los costos totales son mínimos.



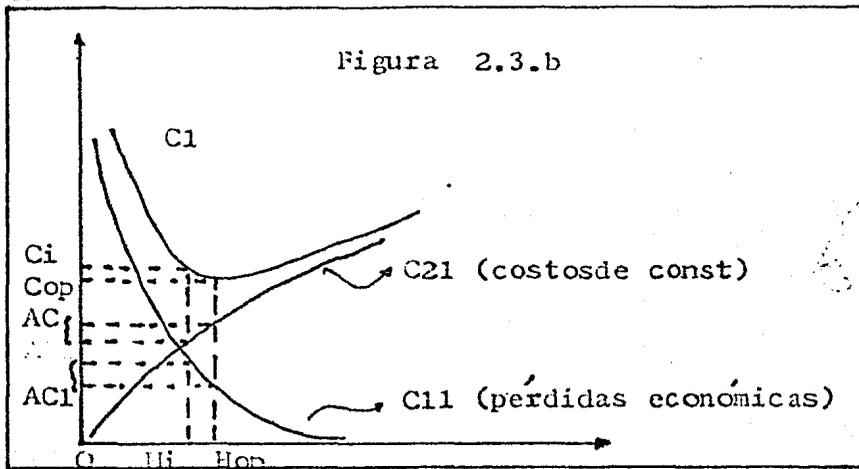
Ahora bien si diseñamos con una altura de ola $H_i < H_{op}$, los costos totales probables son mayores. Sin embargo, haciendo un análisis por separado de las dos curvas (C_a y C_b), vemos que la curva de costos de construcción (C_a), sufre un decremento ΔC , significando un ahorro económico cuantificable, por el otro lado, vemos que la curva de pérdidas económicas tiene un incremento de costos siendo éste ΔC_i .

Si ΔC_i ocurre, es indudable que los costos totales (C_i) serán mayores que (C_{op}), no obstante, existe la posibilidad de que la ocurrencia (ΔC_i) sea pequeña, o incluso nula, cuando esto sucede, el riesgo de haber diseñado con una H_i menor que H_{op} trae buenos resultados, llegando incluso a la obtención de ventajas en el orden económico.

Consideremos por un momento que las pérdidas económicas son 100% ciertas, ahora alejémonos de H_{op} de tal manera que H_i tienda a ser muy pequeña. A medida que nos acercamos a 0, descubrimos que los costos de construcción tienden a ser ínfimos, sin embargo, las pérdidas económicas se hacen muy grandes. Si en un momento dado H de diseño es igual a cero, significa que los daños al puerto estarán exclusivamente en función de la altura del oleaje que incide sobre sus instalaciones.

Bien, prosigamos con nuestro análisis, ahora hagamos que H_i tienda a H_{op} . A medida que sus valores son mas cercanos, los incrementos de las pérdidas económicas probables son mas pequeñas, lo mismo sucede con los decrementos de los costos de construcción. Si en un momento H_i y H_{op} son iguales, los incrementos de costos y pérdidas son nulos, llegando en ese momento a la altura y costo total óptimos probables, considerando que los daños que se presentan durante la vida previsible del rompeolas son completamente ciertos.

En la figura que presentamos a continuación (2.3.b), mostramos las aproximaciones de H_i a H_{op} , así como los incrementos de los posibles pérdidas (AC_i) y ahorro de los costos de construcción- AC_c .



Por último consideremos que la altura de diseño (H_i), se mueva a la derecha de H_{op} , es evidente que los daños previsibles los vamos reduciendo, el problema fundamental es a que costo?. Conforme nos alejamos (ala derecha), los costos totales del rompelas (C_i) se van acercando a los costos de construcción (2.1), - mientras los daños probables (C_{11}) tienden a ser muy pequeños, - a medida que H_i se aleja de H_{op} .

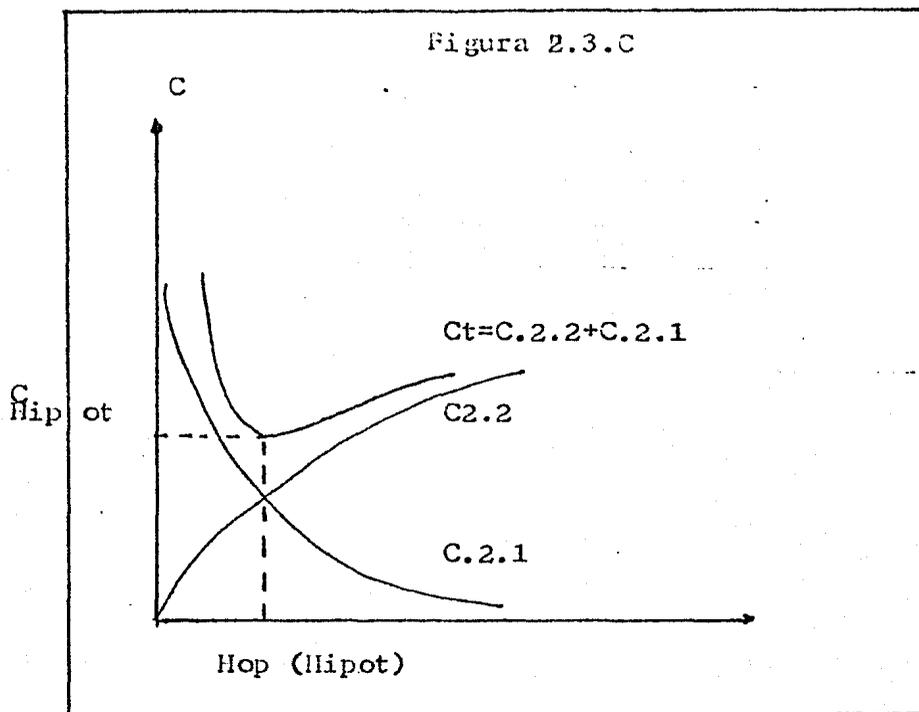
En la realidad, resulta difícil prevenir daños con el 100% de seguridad. Cuando existe el caso, en que la altura de la ola de diseño llega a ser tan grande, implicando un costo elevado, es preferible cambiar la localización de las obras de protección - del proyecto portuario.

II-3.A.- Análisis de la curva de costos totales (probables)

Sin hacer un estudio con datos reales, por un momento pensemos que el costo óptimo (probable) queda definido por la intersección de las curvas, C_1 y C_{21} , Figura (2.3.C), dándonos una altura de diseño (H_{op}) hipotética.

Si lo que suponemos es cierto, entonces cualquier par de curvas que se ajusten a las presentadas en la Figura, cumplen dicho requisito.

Figura 2.3.C



Sea $C2.1 = Y_1$, definido como $Y_1 = 1/x$; $C2.2. = Y_2$, definido también como, $Y_2 = X^2$,

Ahora hagamos una tabulación dándole valores numéricos a estas curvas

H=X	$Y_1=1/X$	$Y_2=X^2$	CT	Y_1/Y_2
5	0.20	25	25.20	0.008
4	0.25	16	16.25	0.015
3	0.333	9	9.33	0.037
2	0.50	4	4.50	0.125
1	1.0	1	2.0*	1.0
0.90	1.11	0.81	1.92	1.37
0.80	1.25	0.64	1.89	1.953
0.79	1.265	0.624	1.88	2.023
0.78	1.282	0.608	1.89	2.107
0.75	1.333	0.562	1.89	2.37
0.70	1.428	0.49	1.91	2.915
0.60	1.666	0.36	2.02	4.63
0.50	2.0	0.25	2.25	8.0
0.40	2.50	0.16	2.66	15.62
0.30	3.33	0.09	3.42	37.63
0.25	4.0	0.062	4.06	64.0
0	no def	0.0	**	no definido

* Punto donde se interceptan las curvas (2.1) y (2.2.)

** El costo de los daños queda en función de las instalaciones con que cuenta el puerto.

De los datos proporcionados por la tabulación, observamos que a medida que se incrementan las alturas de diseño, los costos totales probables también son mayores, sin embargo, cuando $H=1$, los términos y_1 y Y_2 son iguales. Lo que quiere decir que los costos de construcción del rompeolas comparados con los costos de reparación son los mismos.

Observando los datos restantes, vemos que cuando: $H = 0.79$, $y_1 = 1.2658$, $Y_2 = 0.6241$, obtenemos los costos totales (probables) - mínimos ($C_t = 1.889$)

En un principio habíamos querido pensar que los costos mínimos se presentan únicamente cuando las curvas se interceptan en un punto, para una determinada H_{op} y C_{op} , pues bien, con este sencillo ejemplo podemos deducir que los costos mínimos (probables) se pueden presentar antes, después ó incluso en el punto de intercepción de las curvas en estudio.

para finalizar al observar los datos de la última, columna, la relación de los daños esperados a los costos de construcción, van desde casi nulos hasta igualarse y cuando los valores de la altura de diseño (H) son muy grandes, hasta llegar a uno. Ahora bien, en el punto de $H = 1$, hasta $H = 0$, los riesgos van en constante aumento, de tal manera que cuando no existe obra de protección ($H=0$), los daños previsibles teóricamente son infinitos.

Existe un punto en el que el costo de daños es más de 2 veces al costo de construcción de la obra de protección. Este dato a simple vista nos puede confundir, entre tomar un valor de H , donde los daños y costos son iguales, y tomar una H , donde los daños son mayores a los costos. Volviendo nuevamente a la tabla, cuando tenemos que $Y_1 = 2.028$ Y_2 , encontramos el costo probable óptimo para una altura de diseño ($H = 0.79$), que ya habíamos mencionado anteriormente.

II-4. Consideraciones al reducir la altura de diseño, para los elementos componentes de la coraza.

ya habíamos mencionado que al reducir la altura de diseño, incrementamos la probabilidad de que los daños previsibles sean mayores. Sin embargo, existe siempre la posibilidad de presentarse un daño menor que el esperado, obteniendo con ellos considerables ahorros dentro del área económica.

Como cuestión económica al haber reducido la altura de diseño, los elementos componentes de la coraza se habrán reducido en un determinado peso, logrando con ello mejores formas de obtención-transporte, colocación, etc.

En el Congreso de Estocolmo, expuso, que para una alternativa de ola 56% mayor que la altura de diseño, los daños que sufre la estructura llegan a ser del 100%.

Para que el porcentaje de daños sea completamente cierto, de la figura (2.3.a), es necesario la obtención de la relación del volúmen del manto activo entre el volúmen de la coraza, siendo este manto activo el resultado de haberlo obtenido en base a una longitud transversal igual a $2H_s$ por metro de longitud del rompeolas. La relación de volúmenes nos dará un determinado valor que multiplicado por el porcentaje obtenido de la altura de diseño, nos dará los daños reales. Conviene aclarar que estos % de daños son con relación a la coraza, si por ejemplo la relación del volúmen activo al volúmen de la coraza es del 80%, y tenemos una altura de ola con un daño de 50%, el daño real será de $50\% \times 0.8 = 40\%$ del total del volúmen de la coraza.

Conforme se incrementan los valores de la relación de volúmenes, queda claro que la longitud transversal $2H_s$, es mayor. Si en un momento la longitud transversal de la coraza, y el valor $2H$ (del manto activo) son iguales, es de esperarse que la relación de volúmenes será uno. Solo en este caso - la figura (2.3.a-1) nos dará los porcentajes reales de daños.

Para finalizar, para valores mayores de 100% de daños los elementos de la capa de coraza en su totalidad serán desplazadas por las fuerzas ejercidas del oleaje. En ese momento el rompeolas pierde estabilidad, y la destrucción empieza en las siguientes capas.

En nuestro estudio haremos un análisis para una altura de diseño de 15.60 m considerando que esta altura es el resultado del promedio del terrazo mayor de las olas registradas al pie de la estructura. Para el estudio del daño consideraremos la relación de volúmenes igual a uno.

Bien se desea saber, cuales son los pesos de los elementos que componen la coraza, para las disminuciones de las alturas de diseño de ola, hasta que h sea igual a 10 m., o sea cuando la relación de 15.60 m. y 10 m. sea 1.56, dándonos 100% de daños.

Sea

$H_1 = 15.6$ m.

$H_2 = 14.0$ m.

$H_3 = 12$ m.

$H_4 = 10$ m.

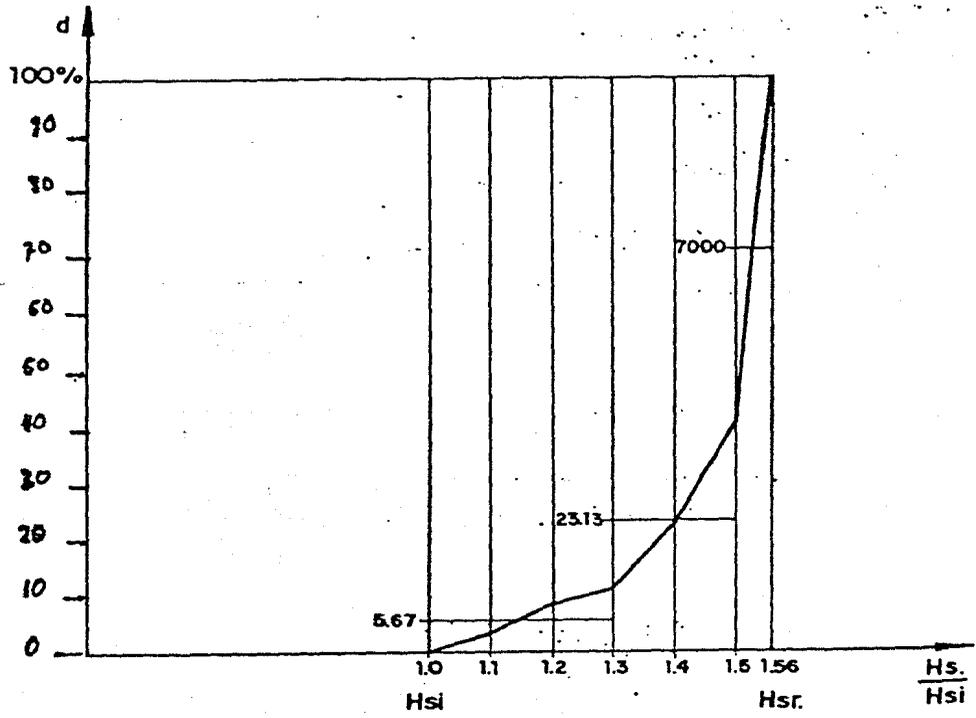
$\alpha = 20^\circ$

$w = 2650$ kg/m³ (peso unitario de la roca)

$N = 0.015$ para bloques naturales

$w_w = 1025$ kg/m³ (agua salada)

Fig 2-3a-1



Para la obtención de pesos de los elementos, para cada altura de ola se usará la fórmula de Inbarren.

$$W = \frac{N d h^3}{(\cos d - \text{sen} d)^2 (d-1)^3} ; \quad d = W/ww = 2650/1025 = 2.585. \text{ Sustituyendo valores en } W \text{ tenemos.}$$

a) $H_1 = 15.60 \text{ mts.}$

$$W_1 = \frac{(0.015) (2.585) (15.60 \text{ m.})^3}{(\cos 20^\circ - \text{sen } 20^\circ)^2 (2.585-1)^3} = 173.16 \text{ Ton.}$$

b) Haciendo las mismas opciones, solo que con $H_2 = 14 \text{ mts.}$, tenemos: $W_2 = 125.157 \text{ Ton.}$

c) Para $H_3 = 12 \text{ mts.}$; $W = 78.816 \text{ Ton.}$

d) Por último para $H_4 = 10 \text{ Mts.}$, $W = 45.61 \text{ Ton.}$

De los valores obtenidos desde W_1 hasta W_4 , éstos nos permiten -- cuantificar los notables decrementos de los pesos; con su conse --
cuenta incremento de riesgo al haberlos realizado.

A continuación se obtendrán esos riesgos, así como los --
porcentajes de daños probables.

Para $H_1 = 15.60 \text{ mts.}$, tenemos $W_1 = 173.16 \text{ Ton.}$, observando la --
gráfica (2.3.a-1)

vemos que $H_s/H_1 = \frac{15.60}{15.60} = 1$, donde los daños prácticamente --
son nulos.

Ahora, cuando $H_2 = 14 \text{ Mts.}$, tenemos que $H_s = 1.114 H_2$, obtenien --
do un daño probable del 4%, prosiguiendo con $H_3 = 12 \text{ Mts.}$, la re --
lación $H_s/H_3 = 1.30$, la relación $H_s/H_3 = 1.30$. Para un incre --
mento del 30%, tenemos un daño probable del 11%.

Tomando el último valor de, $H_4 = 10 \text{ Mts.}$, tenemos que $H_s = 1.56$ --
 H_4 , en este caso el porcentaje de daños es el 100%, según la fi --
gura (2.3.a-1).

Es interesante observar el caso c y d, como forma de compara --
ción. Si tenemos un daño del 11%, los elementos pesarán cuando --
menos 78.82 Ton, sin embargo para $W = 45.6/\text{Ton}$, se corre el peli --
gro de tener un daño del 100%, en este caso el peso de 78.816 --
Ton. con respecto a 45.6/ton. solo se redujo un 42.13%, mien --
tras el daño se incrementó un 89%.

Ahora bien prosigamos con nuestro análisis, determinando los di --
ferentes riesgos para una vida previsible del rompeolas de 50 --
años.

a) Sea $H_1 = 15.60$ m., altura de diseño de la estructura. Entrando en la figura 2.1.a, tenemos una $T = 7,000$ años, con una probabilidad de que una ola mayor no se presente de 99.99%

El riesgo es $E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L = 1 - \left(1 - \frac{1}{7000}\right)^{50} = 0.712\%$ de que ocurra.

b) $H_2 = 14$ m. otra posibilidad de diseño. Siguiendo el mismo procedimiento tenemos:

$T = 2000$ años

$F(H_s) = 99.94\%$, probabilidad de que la ola mayor no se presente.

Riesgo, $E = 2.47\%$

c) $H_3 = 12$ m.

$T = 430$ años

$F(H_s) = 99.75\%$

$E = 10.98\%$

d) $H_4 = 10$ m.

$T = 110$ años

$F(H_s) = 98.9\%$

$E = 36.65\%$

De los resultados obtenidos, podemos observar a medida que disminuimos la altura de la ola de diseño, los riesgos van en constante aumento. Existe un caso interesante entre los incisos c y d como lo hicimos hace un momento.

Tenemos una altura para el caso c de 12 m, con un W de 7.88 ton. y además con un riesgo de 10.98%. Sin embargo, al reducir 2 m. de altura de diseño, obtenemos riesgos del 36.6%, lo que significa un incremento con respecto al primero de 3.3. veces. Ahorrando únicamente un 42.13%.

Con los datos que contamos resulta difícil definir los acontecimientos de la naturaleza. Es por ello que al reducir los elementos de la coraza, las ventajas son de índole económico con determinado riesgo.

Los riesgos nunca podrán ser salvados un 100%. Pensemos por un momento que existe una obra tal, que soporte ese determinado porcentaje de riesgo y daño, es factible pensar que la estructura mencionada será más costosa que todas las instalaciones del puerto restantes, siendo conveniente cambiar el puerto en su totalidad.

Para finalizar, un rompeolas al irse alejando de la costa, se va introduciendo en profundidades mayores, llegando a él diferentes alturas de ola.

Para establecer el diseño de esta estructura se toman intervalos de longitud obtenidas por medio de las alturas de ola para cada tramo.

Estos promedios nos permiten obtener diferentes pesos unitarios para cada longitud parcial de la coraza, obteniendo considerables ahorros de materiales de la capa protectora de la estructura.

Se considera aguas reducidas cuando la profundidad del agua al pie de la estructura es menor que 1.3 veces la altura de la ola de diseño, para este caso Hudson recomienda que el peso de los elementos de la capa principal sometidos a la fuerza de oleaje, sea el mismo en toda su sección transversal.

Ahora bien, conforme se incrementa la profundidad, es posible una reducción de la primera capa principal (coraza), en cuanto al peso de sus elementos componentes.

Los estudios realizados en modelos a escala proponen una reducción del peso hasta 10 veces a partir de una profundidad de $1.3 H$ del N. B. M. I., para el oleaje que incide del lado de barlovento. Cuando analizamos el lado de sotavento se puede reducir su peso (hasta 10 veces) a partir de H del N. B. M. I. -- hasta el fondo.

Estas recomendaciones nos proporcionan mayor facilidad de colocación de los materiales, una mejor transportación de los mismos, así como una obtención más fácil de los lugares de extracción.

Capítulo III. Caso Salina Cruz.

III.1 Generalidades del sistema portuario nacional.

En el año de 1971 el país apenas contaba con 42 puertos, de los cuales 38 eran marítimos (90.47%) y solamente 4 fluviales (9.53%).

Para el año de 1980 las necesidades del país se han incrementado de tal manera que el número de puertos se elevó en un 100%.

A continuación mostramos las principales características de los puertos entre 1971 y 1980 .

AÑO 1971.	AÑO 1980.
N de puertos 42	84
puertos marítimos 38	75
" fluviales 4	9
Muelles 22800 m l	43800 ml
Almacenamiento 246000 m2	329100 m2
Pacios disponibles 1009000 m2	1912000 m2.

En la actualidad se considera que el 85% del comercio exterior que realiza el país es a través del transporte marítimo. Es por ello que de la importancia que se le da a sus instalaciones, así como a su desarrollo depende una gran parte de la actividad económica.

México cuenta con los siguientes puertos comerciales de mayor importancia.

Océano pacífico.	Golfo de México.
Ensenada y San Carlos (BC)	Tampico
Guaymas y Mazatlán.	Veracruz
Manzanillo	Coatzacoalcos
Salina Cruz	Puerto progreso
Puerto Madero	Puerto Morelos
	Cozumel

En lo que se refiere a puertos pesqueros, el país cuenta (de mayor importancia)

Ensenada	Puerto Peñasco	Mazatlán
San Carlos	San Blas	Salina Cruz
Puerto Madero	Yulcapetén	C. del Carmen

Puertos turísticos	
Isla Mujeres	Cozumel
Puerto Morelos	Playa del Carmen
Acapulco	Manzanillo

En el año de 1980 la carga operada através de puertos nacionales fue superior a los 124 millones de toneladas, de la cual el 53% corresponde al tráfico de altura y el 47% es al de cabotaje.

La composición de la carga fue básicamente a base de petróleo con un 72%, minerales con un 15.6% y carga general con un 5.5%.

En lo que se refiere al tráfico de altura, los volúmenes de carga de importación fueron de 13.5 millones de toneladas, mientras la exportación fue al rededor de los 52.5 millones de ton.

En este período la exportación de petróleo significó el 78.8% de la carga total por vía marítima.

En la actualidad existen deficiencias en materia portuaria, debido básicamente a que las poblaciones que integran el país se concentran en unos cuantos puntos del territorio nacional, esto ha provocado un crecimiento industrial más apegado a los centros de consumo que a los generadores de insumo, dando como resultado una vida más costosa, social y económicamente.

Esto ha motivado la generación de puertos industriales con fuentes de desarrollo en las costas, originando un sistema de ciudades intermedias, dotándolas de infraestructura social y de servicios.

Las áreas seleccionadas para su desarrollo, tienen características físicas que permiten al gobierno la conceción de esfuerzos y estímulos, para que su desarrollo sea constante y en aumento.

Los puertos de Tampico, Coatzacoalcos, Lázaro Cárdenas, y, Salina Cruz poseen recursos hidráulicos, tierras, fuentes energéticas, yacimientos minerales cercanos, un gran potencial agropecuario, servicios marítimos y terrestres.

III.2 Salina Cruz

La parte por estudiar corresponde a las obras de protección (rompeolas) del puerto petrolero de Pemex en construcción.

Salina Cruz se encuentra ubicado en el golfo de Tehuantepec, se comunica en el golfo de México con el puerto de Coatzacoalcos por vía férrea y carretera pavimentada, que tiene una longitud poco más de los 300 kms.

Está ubicado entre el meridiano $95^{\circ} 11' 30''$ de longitud oeste y el paralelo $16^{\circ} 9' 30''$ de latitud norte.

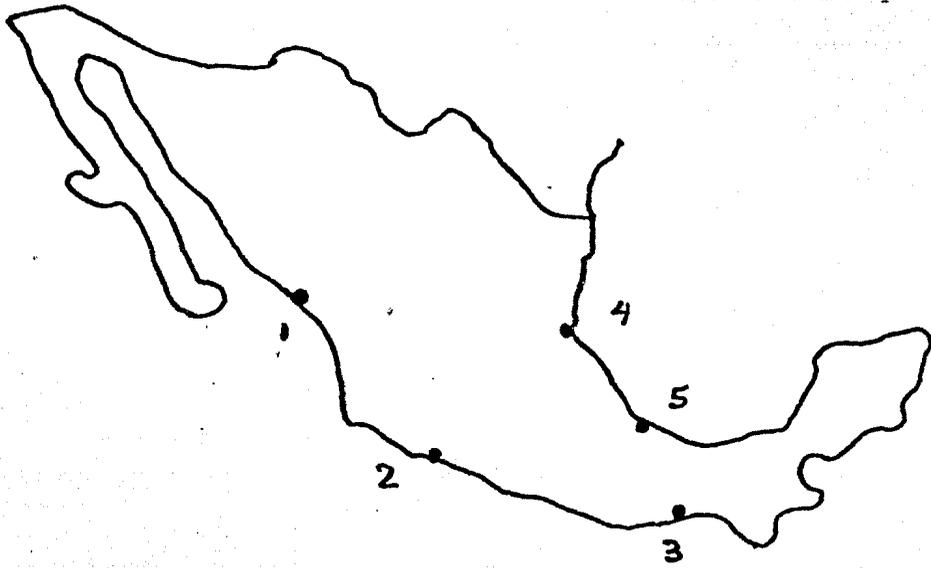
Con respecto a la capital de Oaxaca está a 269 km de distancia y son aproximadamente 776 km de recorrido entre Salina Cruz y la capital del país.

En relación al comercio, en el año de 1973 Salina Cruz desplazó una carga de 2298000 ton, con respecto a Mazatlán fue un 70% mayor, sin embargo al compararla con Tampico apenas alcanzó el 24.3%.

Para los años de 1982 Salina Cruz desplazó 8.754 millones de ton lo cual equivale al 60.9% con respecto a Tampico y es cerca de 5 veces mayor que Manzanillo. Recalcando que Manzanillo prácticamente no ha crecido de 1973 a 1982.

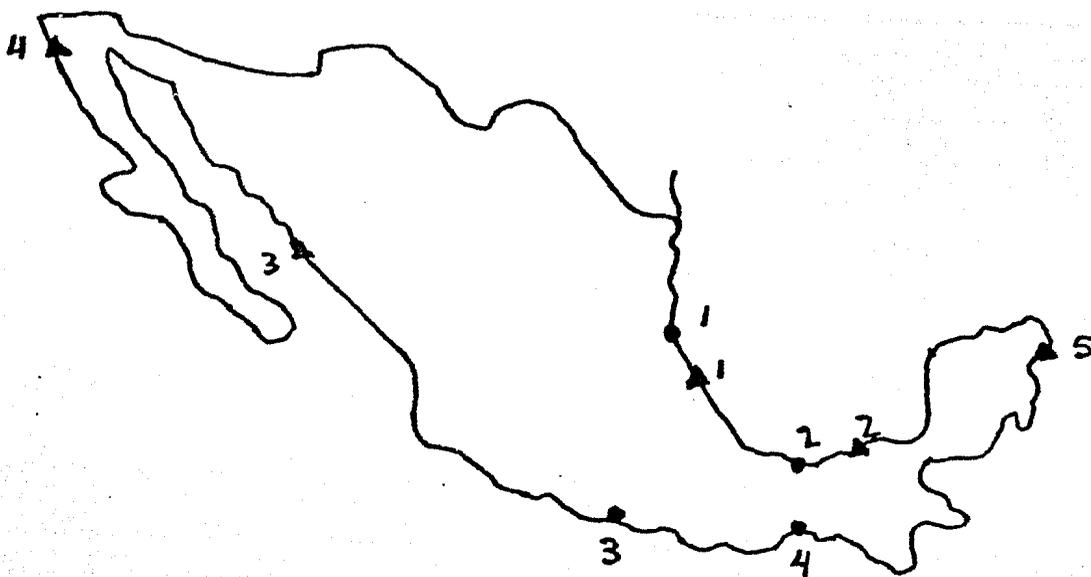
En los esquemas que presentamos a continuación, mostramos la localización geográfica de los 5 puertos comerciales más importantes del país, desde el año de 1973 hasta 1982. Así como la ubicación de los puertos industriales, pesqueros y turísticos.

Puertos comerciales



- 1.- Mazatlán
- 2.- Manzanillo
- 3.- Salina Cruz
- 4.- Tampico
- 5.- Veracruz

Puertos industriales 1980



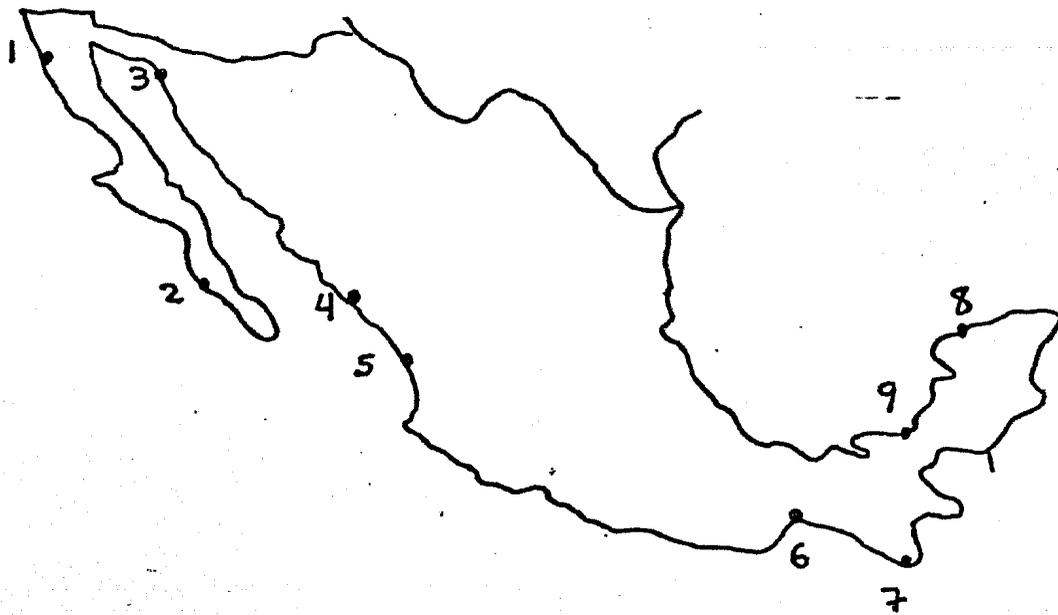
En construcción ●

- 1.- Tampico - Altamira
- 2.- Coatzacoalcos - Ostión
- 3.- Lázaro Cárdenas
- 4.- Salina Cruz

En proyecto ▲

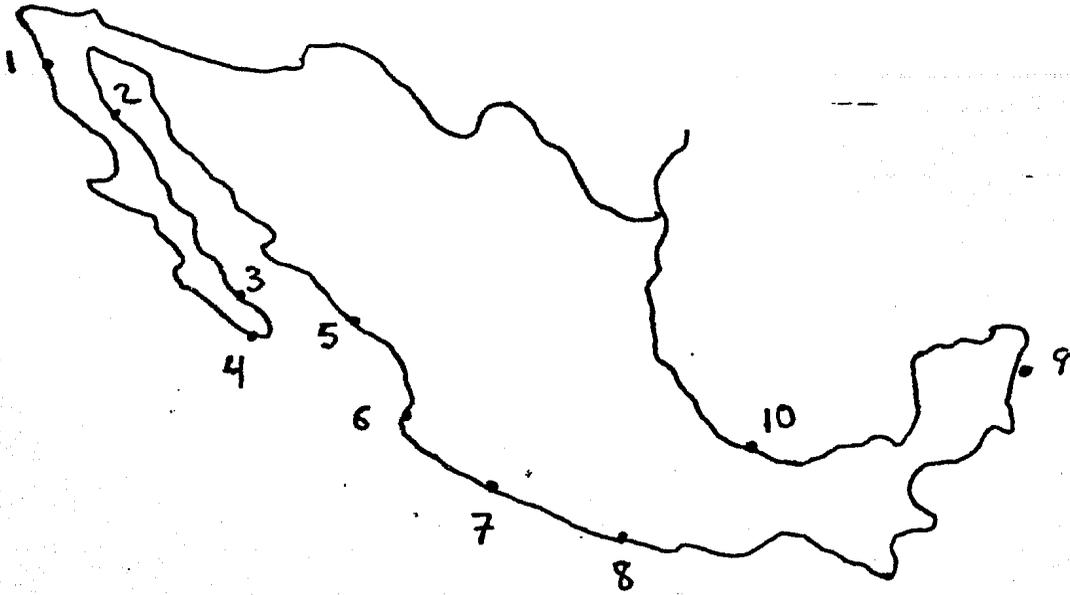
- 1.- Tuxpan - Ver
- 2.- Dos bocas Tabasco
- 3.- Topolobampo
- 4.- Ensenada - B. C. N
- 5.- Coba Q. R

Puertos pesqueros



- 1.- Ensenada
- 2.- San Carlos
- 3.- Puerto Peñasco
- 4.- Mazatlán
- 5.- San Blas
- 6.- Salina Cruz
- 7.- Puerto Morelos
- 8.- Yucalpetén
- 9.- C. del Carmen

Puertos turísticos



- 1.- Ensenada
- 2.- San Felipe
- 3.- La Paz
- 4.- Cabo San Lucas
- 5.- Mazatlán
- 6.- P. Vallarta
- 7.- Manzanillo
- 8.- Acapulco
- 9.- Cozumel
- 10.- Veracruz

III.2.1 . Rompeolas del puerto petrolero de Salina Cruz.

En la construcción de este tipo de puertos ,es necesario tener grandes profundidades que le permitan a los barcos entrar ó salir sin ningún problema. Para su localización se buscó entre otras cosas, la menor agitación posible realizando un estudio batimétrico en la zona de proyecto portuario.

Para contar con una profundidad adecuada , que le permita a los barcos desplazarse libremente, fue necesario hacer un dragado en el canal de navegación así como en el puerto, con una profundidad de 24 mts y 22 mts respectivamente. Existe además un pequeño antepuerto para embarcaciones más pequeñas con una profundidad promedio de 10 mts y una capacidad de cinco bodegas. (vease el esquema 3.2.a)

Para el diseño de obras de protección (rompeolas) del puerto, se realizó un estudio por medio de un modelo a escala através de un canal de olas.

Los estudios realizados, determinaron en el sitio de la estructura una altura de ola significativa (promedio del tercio mayor de las olas registradas) de 5 mts.

Una vez determinada esta altura de diseño, se obtuvieron los valores de los pesos necesarios en cada una de las capas correspondientes, desde el nucleo hasta la coraza. (en la figura 3.2b y 3.2c se muestran las dimensiones necesarias para los elementos del tercer tramo de los rompeolas oeste y este).

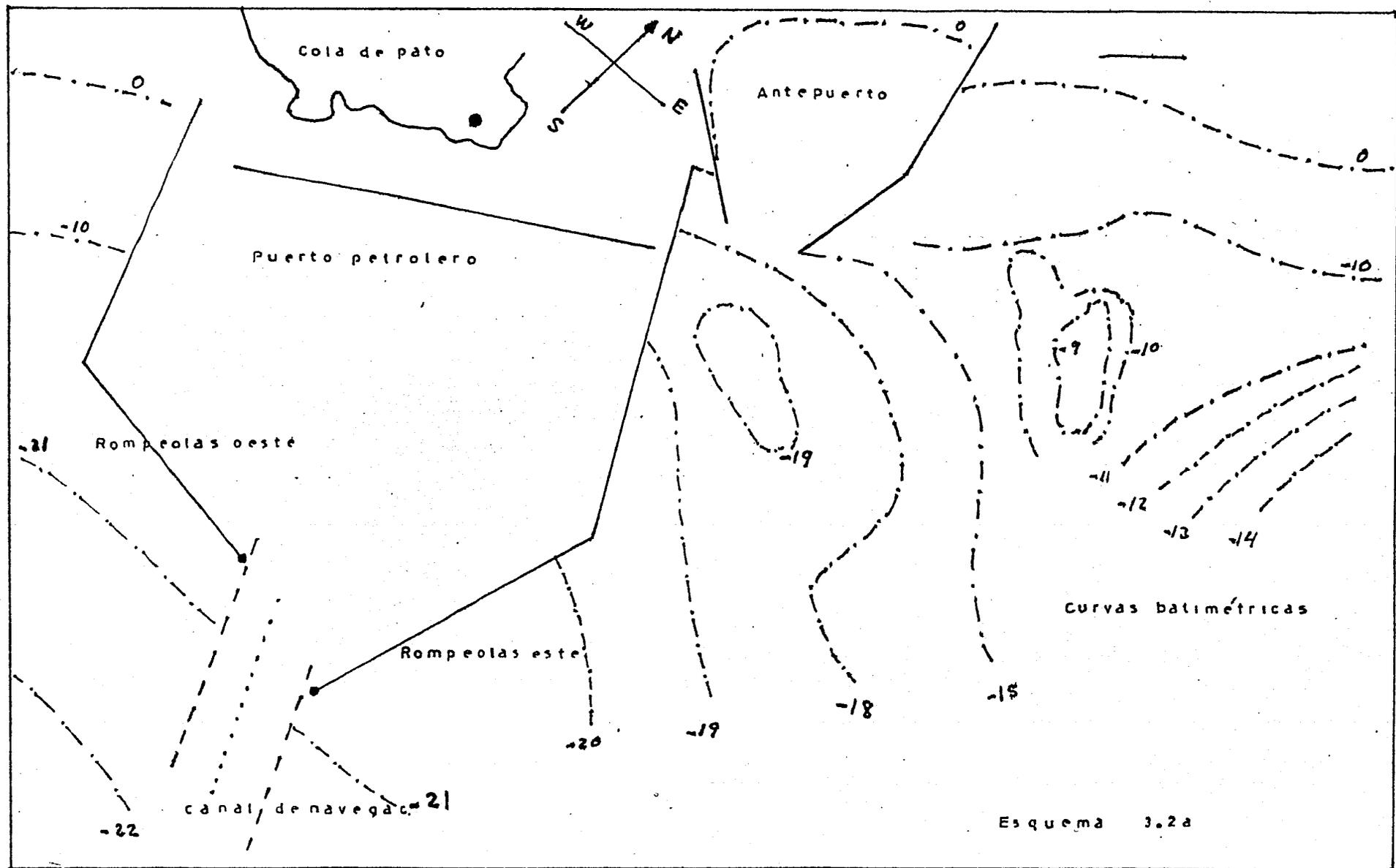
El talud de la cotangente del rompeolas se considero de 1.50, este dato fue obtenido basado en las experiencias de los modelos a escala de la Army Coastal Eng.

III.2.2. Ventajas al haber reducido la coraza de los rompeolas.

El estudio realizado solamente se hace para el tercer tramo, dado que en los tramos restantes, no se tiene la información completa.

Al haber hecho las pruebas de laboratorio, en el modelo se observo que el grado de rocion no afecto , haciendo posible eliminar la corona de la estructura de la capa principal, trayendo consigo grandes ahorros de caracter económico .

La fuerza del oleaje en ellado de barlovento, para una profundidad de 1.4d (altura de la ola de diseño) se encontro que ya no hacia efecto sobre los elementos de la coraza, esto permitio una reduccion del peso de sus elementos en 3.5 veces (la coraza).



Estos resultados , eran de esperarse ya que Hudson recomienda que para profundidades mayores a 1.5d.(altura de la ola de diseño),se reduzca la coraza de 10 a 15 veces el peso de los elementos de la capa principal. En este caso las ventajas son de facilidad de colocación y de rapidez de la misma ya que el volumen es practicamente el mismo.

En el lado de sotavento no fue posible la reducción de sus elementos, porque el modelo presentaba condiciones de inestabilidad .

A continuación se realizan los cálculos para los rompeolas oeste y este, determinando los volúmenes de material de la coraza, subcapas y núcleo .

También se calculó los porcentajes de ahorro de la coraza (en la parte correspondiente a la corona), haciendo la comparación primeramente contra la misma coraza (si se hubiera incluido la corona) y después considerando el rompeolas en su totalidad.

III.3. Cálculo de los volúmenes generados por los rompeolas en el tercer tramo

III.3.1. rompeolas oeste, 280 m de longitud

a) Coraza interior

$$r = nk(w/wr)^{1/3}$$

donde

r = espesor de la coraza

k = coeficiente de capa (k=1 para la roca)

n = número de rocas (se recomienda 2)

w = peso de los elementos de la coraza

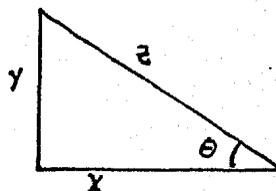
wr = peso unitario

$$r = 2(1)(1800/2500)^{1/3} = 4 \text{ mts}$$

Ángulo recomendado 33.69° o sea $\cot \theta = 1.5$, (talud del rompeolas)

$\sin 33.69^\circ = y/z$, $z = y/\sin 33.69^\circ$, siendo $y = 22.40$ m (vease figura 3.2c)

$z = 40.40$ m.



$$\text{Volumen de roca} = (40.40 \text{ m})(4.0 \text{ m})(280 \text{ m})(62\%) = 28053.80 \text{ m}^3$$

* 100% - 38% de la porosidad de la roca.

b) Coraza exterior.

$$r = 2(1)(22000/2500)^{1/3} = 4.20 \text{ m de espesor.}$$

$$y = 4 + 3.18/2 + 18.40 \text{ (vease figura 3.2c)}$$

$$y = 24 \text{ m.}$$

$$\sin 33.69^\circ = y/z = 24 \text{ m}/z, z = 43.3 \text{ m (longitud transversal de la coraza exterior)}$$

$$\text{Volumen} = (43.3 \text{ m})(4.20 \text{ m})(280 \text{ m})(0.62) = 31571 \text{ m}^3$$

c) Subcapa $1/3$

$$r = 2(1)(2000/2500)^{1/3} = 2 \text{ m}$$

$$y = (2.10 + (1.90/2) + 18.40) \text{ m} = 21.45 \text{ m}$$

$$z = y/\sin 33.69^\circ = 21.45/\sin 33.69^\circ = 39 \text{ m}$$

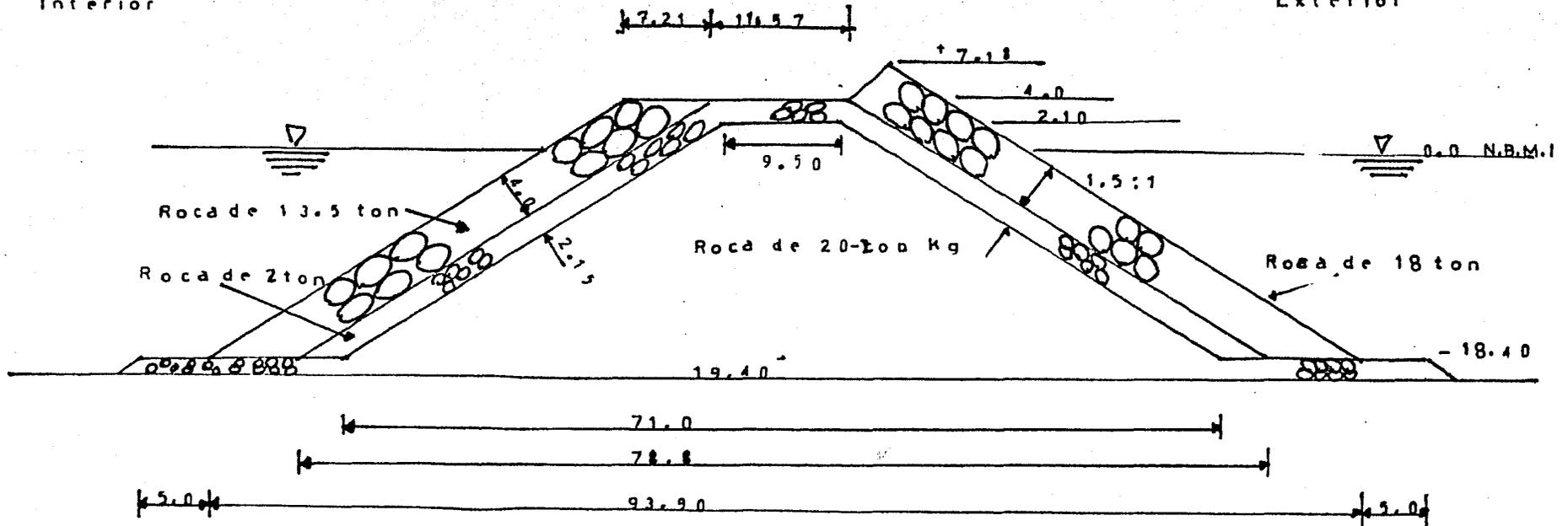
$$Z = 2(39 \text{ m}) + (11.57 \text{ m} + 9.50 \text{ m})/2 = 88.54 \text{ m (se considero la longitud total de la subcapa, incluyendo la longitud de la corona)}$$

$$\text{Volumen} = 88.54 \text{ m}(2 \text{ m})(280 \text{ m})(0.62) = 30741 \text{ m}^3$$

Rompeolas Oeste (fig. 3.2c)

Interior

Exterior



Acot y elev en mts.

d) Nucleo del rompeolas.

area aproximada de la seccion transversal :

area del trapecio .

$$B=71m, \quad b=9.50 m, \quad h=21.50 m$$

$$A=(B+b)h/2=865.4m^2$$

Area de las dos secciones complementarias en la parte inferior del rompeolas

area de una seccion .

$$B=12.60m, \quad h=1m, \quad A=12.60m \times 1m = 12.60 m^2$$

area de dos secciones , 25.20 m²

Volumen del nucleo

$$V=25.20 m^2(280m)(0.62) + 865.4m^2(280)(0.62)$$

$$V=154608.5m^3$$

III.3.2. Rompeolas este, 170 m de longitud.

a) Coraza interior

$$r=2(1)(18000/2500)^{1/3}=4.0m \text{ de espesor}$$

sen 33.69=y/z=22.40 /z, z=40.40m (longitud transversal de la coraza interior)

$$\text{Volumen de roca}=(40.40m)(4.0m)(170m)(0.62)=17033m^3$$

b) Coraza exterior

$$r=2(1)(22000/2500)^{1/3}=4.20m \text{ de espesor}$$

$$y=24m \text{ (vease figura 3.2b)}$$

sen 33.69= 24m/z, z=43.30m (longitud transversal de la coraza exterior)

$$\text{Volumen generado} = (43.30m)(4.20)(170m)(0.62)=19168m^3$$

c) Subcapa

$$r=2(1)(2500/2500)^{1/3}=2m$$

$$y=21.45m \text{ (vease figura 3.2b)}$$

$$z=y/\text{sen } 33.69=21.45m/\text{sen } 33.69=39m$$

$$Zt=2(39) + (11.57 + 9.50)/2 = 88.54m \text{ (se considera la longitud total de la subcapa incluyendo la longitud de la corona)}$$

$$\text{Volumen generado} = 88.54m(2m)(170)(0.62)=18665m^3$$

d) Nucleo del rompeolas.

Area de la seccion transversal

Area del trapecio

$$A=865.4m^2 \text{ (del caso anterior)}$$

Area de las dos secciones complementarias en la parte inferior del rompeolas.

$$A=25.20m^2 \text{ (del mismo caso anterior)}$$

Volumen del nucleo

$$v=25.20m^2(170m)(0.62) + (865.4m^2)(170)(0.62)$$

$$V=93870 m^3$$

III.3.3. Cálculo de los volúmenes generados por la corona ,para el tercer tramo (del rompeolas oeste), long 280m.

Area generada por la corona .

(área del trapecio, vease figura 3. 3a)

$$B=18.78m , b=14.75m , h=3.18m$$

$$A=(18.78+14.75)(3.18/2) =53.4m^2$$

(area del triangulo, vease figura 3.3a)

$$b=18m , h=3.18m.$$

$$A=3.18 \times 3.18 / 2 =5.05m^2$$

$$\text{Area de la corona} =58.45m^2$$

$$\text{Volumen}=58.45m^2(280)(62\%)=10147m^3$$

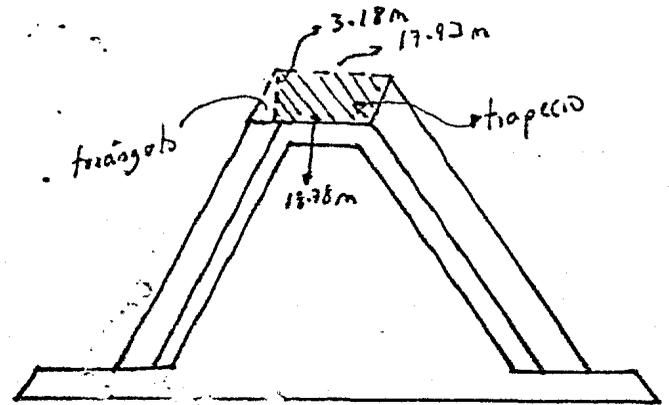


Fig 3.3.a

III.3.4. Cálculo de la corona para el rompeolas este del tercer tramo , con una longitud de 170m. .

Area del trapecio

$$B=19.30m , b=15.12 , h=3.40m$$

$$A=(19.30+15.12)(3.40)/2=58.51m^2.$$

Area del triangulo

$$b=3.40m , h=3.40m$$

$$A=(3.40m)^2/2=5.78m^2$$

$$\text{Area de la corona} =64.29m^2$$

$$\text{Vol umen} =(64.29)(170)(62\%)=6776.2m^3$$

Resumiendo los valores obtenidos, tenemos para el rompeolas oeste del tercer tramo lo siguiente.

$$\text{Coraza}=59624.80m^3 \text{ (sin incluir la corona)}$$

$$\text{Coraza} =69771.80 m^3$$

$$\text{Porcentaje de ahorro de material} =1-59624.80/69771.80=14.54\% \text{ (respecto a la coraza)}$$

Volumen total tercer tramo (incluyendo la corona)

$$V=Vc+Vn+Vs=69771.80m^3+30741m^3+154608.5m^3$$

Vc=volumen de la coraza , Vn=vol del núcleo , Vs=subcapas

$$V=255121.30m^3 \text{ (vol total incluyendo la corona)}$$

porcentaje de ahorro de material de la corona, respecto al total del tercer tramo del rompeolas oeste.

$$P=10147/255121.30=4\%$$

Ahora para el rompeolas este ,tenemos los siguientes resultados.

Coraza= 36201m^3 (sin incluir la corona)

Cofaza = 42977.20m^3

porcentaje de ahorro de material= $1-36201/42977.20=15.76\%$ (respecto ala coraza)

Volumen total del tercer tramo.

$V=V_c+V_h+V_s= 42977.20+93870+18665$

$V=155512\text{m}^3$ (vol total incluyendo la corona)

Porcentaje de ahorro de material de la corona , respecto al total
del tercer tramo del rompeolas este.

$P=6776.20/155512=4.35\%$.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el transcurso de este estudio se ha podido observar, que es imposible predecir el comportamiento de las obras de protección (rompeolas), sometidos a la fuerza de impacto producido por el oleaje. Sin embargo ante la necesidad de resolver esta problemática, se han desarrollado modelos de ensayos en canales de olas, permitiendo el conocimiento y comportamiento de estas estructuras de una forma relativa. Para una mejor interpretación de los hechos, se han agrupado las conclusiones en particular y general.

4-a) Conclusiones Particulares

a-1) En los rompeolas de talud aun no se ha encontrado la forma de realizar un estudio analítico para determinar la fuerza producida por el oleaje rompiente, como sucede con los muros verticales ó las presas de tierra. Es indudable que la mecánica de rocas aun se encuentra en fase de experimentación, no obstante en los años futuros es muy probable que esta incógnita ya se haya resuelto, permitiendo un mejor desempeño en los sistemas portuarios del mundo.

a-2) En el caso del puerto petrolero de Salina Cruz los estudios realizados en modelos a través de un canal de olas, permitió reducción del peso material en la parte inferior, correspondiente a la coraza exterior, a partir de una profundidad de 1.4 H del nivel inferior de mareas bajas. Siendo esta reducción en más de la tercera parte del peso inicial, sin embargo del lado de sotavento no fue posible debido a que el modelo presentaba condiciones de inestabilidad.

La reducción del peso de sus elementos en la parte inferior era de esperarse, puesto que Hudson recomienda para aguas profundas en los casos teóricos y práctico, una reducción hasta de $\frac{1}{10}$ del peso de los elementos de la coraza a partir de una profundidad de 1.3 H y 1.5 H respectivamente.

En lo referente a la corona el efecto de roción no presentó condiciones severas para la estructura, permitiendo un ahorro de material de un 15% aproximadamente en los rompeolas del puerto. La nueva corona se formó por elementos de la siguiente capa con un peso unitario de 2.5 Ton.

a-3) Hay que recordar que entre los inconvenientes de los modelos, resulta que al colocar los elementos de la coraza, se ha buscado la manera de responder al oleaje de laboratorio, dejando esta colocación de ser al azar, como sucede con los rompeolas sometidos a la fuerza del oleaje en las costas. Al igual sucede con el tipo de oleaje generado mientras en el laboratorio se realizan de una manera regular, en cambio en

la realidad se genera de una forma aleatoria, como sucede en las costas de cualquier parte del mundo.

a-4) Los materiales que se experimentarán a los modelos, así como los que se van a emplear en la obra deben ser los mismos, con la finalidad de reproducir de una mejor manera los efectos del oleaje en estudio. Es conveniente también verificar las diferentes etapas de construcción, para evitar problemas durante la ejecución de las mismas.

4-6) Conclusiones Generales

b-1) Entre Europa y América existen divergencias en cuanto al diseño de rompeolas de talud, mientras el primero trabaja con los estudios de Iribarren; los E.U.A. manejan los estudios establecidos por Hudson. Hay que recordar que las fórmulas realizadas por los españoles son más conservadoras, -- puesto que para una misma altura de diseño, se tiene peso diferentes para los elementos componentes de los rompeolas.

b-2) El estudio en modelos a través de un canal de olas, ha permitido en cierta forma conocer el comportamiento de los rompeolas, como obras de protección de puertos, obteniendo con ello el peso necesario de sus elementos componentes de la coraza, subcapas y núcleo.

b-3) Ventajas en el uso de rompeolas con coraza reducida --- (Aguas profundas, a partir de 1.5H)

3-1) Mayor rapidez y facilidad de colocación de los elementos, a partir de profundidades de 1.5H.

3-2) Facilidad de transportación de la roca, desde las zonas de extracción hasta los lugares de utilización.

3-3) Mayor disponibilidad de material al ser extraído de los bancos, debido a que se necesita elementos menos pesados para cubrir la coraza, a partir de una cierta profundidad.

3-4) La ventaja de emplear equipo de menor capacidad tanto para su transportación (Euclides, vagones de ferrocarril, tractocamiones para fuera de carretera) como para su colocación (a través de grúas, chalanes, etc).

3-5) Menor tiempo para la terminación total de la obra.

4-C) Recomendaciones

C-1) En las condiciones que se encuentra el país, así como la existencia de grandes extensiones de litorales, es conveniente empezar proyectos como lo ha hecho la República Federal Alemana, contruyendo un canal de olas para oleajes rompientes reales, que permita a su vez tener ideas más acertadas

das sobre el diseño de los rompeolas; elementos de vital importancia en los sistemas portuarios

C-2) Cuando se utilicen elementos prefabricados para la coraza de los rompeolas, se debe tomar en cuenta la equivalencia de los demás elementos de las subcápas y núcleo, en lo referente a porosidad, densidad, fricción, forma de colocación etc.

C-3) Actualmente es imposible predecir el comportamiento de la naturaleza. Las obras marítimas (rompeolas) por costas que sean, siempre corren el riesgo de ser sobrepasadas por un determinado temporal. No obstante se se cuenta con registros mensuales, anuales etc, del comportamiento de estas estructuras; así como de sus daños al ser sometidas a las fuerzas provocadas por el oleaje en n años de todos los rompeolas existentes, entonces es posible tener una información más adecuada y poder diseñar estas obras de una manera más acertada.

C-4) Al diseñar los rompeolas para períodos de retorno grandes, la probabilidad de que se presenten temporales igual o mayor que el diseño, durante toda su vida prevesible es pequeña. Sin embargo si los períodos de retorno son pequeños, la probabilidad de que la obra sea excedida es mayor.

Se ha visto que si la obra de protección tiene riesgos muy pequeños, existe cierta posibilidad de haber realizado gastos económicos mayores sin ser necesarios para tal proposito, implicando que tal vez la obra ha sido sobrediseñada.

Una forma de reducir la coraza y en si todo el rompeolas en general, consiste en diseñar con alturas de ola menores que la obtenida de los modelos ó procesos analíticos. Es indudable que en estos casos estamos aceptando por adelantado daños a la estructura, la cual nos provocará un mantenimiento anual. Sin embargo, si los daños presentados son menores a los esperados, nuestro diseño habrá obtenido enormes ventajas dentro del orden económico.

Ahora bien, si durante la vida de la obra se realiza un mantenimiento anual constante, puede resultar económicamente mayor que haber diseñado la obra con la altura óptima de proyecto. Pero en los países de America Latina, incluyendo el nuestro, el costo total que se haría de una forma inicial, se realiza a plazos y puede así ocuparse una parte canalizándola a otros sectores de la producción, y el rompeolas puede pagar su mantenimiento ó incluso contruirlo como se pensó inicialmente, con las aportaciones que genere el puerto existente en los años futuros.

BIBLIOGRAFIA.

Army Coastal Engineering.

Shore protection Manual vol-2
edicion 1973.

R.L. WIEGEL

Oceanographical Engineering.
Editorial Prentice Hall.

Centro de educacion continua
Novedades cientificas alemanas
vol VIII num 12/81a.

Diseño y construccion de obras maritimas.

Ing. HECTOR LOPEZ G.

Ciencia aplicada (Oleaje rompiente real
en un canal de experiencias hidraulicas).

ING. ROBERTO BUSTAMANTE.

Apuntes de Sistemas portuarios
Ingenieria Maritima.

Rafael del Mora Y Jose Belenguer

Perez

CBEOP

(Centro de Estudios Y Experimentacion
de puertos y costas "Ramon Iribarren")

Curso de ingenieria de puertos y costas
(Diseño óptimo de un dique, tomo 2).