

139
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"APUNTES PARA LA MATERIA DE INGENIERIA MARITIMA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

APOLINAR H. SANCHEZ C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D.F.

1991.



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.

CONTENIDO

I.- INTRODUCCION	I-1
II.- ENTORNO FISICO	II-1
II.A Estudios de campo	II-1
II.A.1 Estudios hidrográficos y topográficos	II-1
II.A.2 Estudios meteorológicos	II-1
II.A.3 Estudios geotécnicos	II-2
II.A.4 Estudios con modelos hidráulicos	II-2
II.A.5 Estudios oceanográficos	II-2
II.B Los movimientos del océano; sus causas y su naturaleza	II-3
II.B.1 Oleaje	II-3
II.B.2 Corrientes	II-4
II.B.3 Mareas	II-4
II.B.4 Maremotos o tsunamis	II-4
II.C Oleaje	II-4
II.C.1 Características	II-4
II.C.2 Formación del oleaje	II-5
II.C.3 Factores en la formación del oleaje	II-6
II.C.4 Clasificación	II-6
II.C.5 Teoría del oleaje	II-8
II.C.6 Medición del oleaje	II-18
II.C.7 Régimen de oleaje normal	II-32
II.C.8 Régimen de oleaje extraordinario	II-34
II.C.9 Fenómenos que modifican el oleaje	II-42

II.D Mareas	II-54
II.D.1 Definición	II-54
II.D.2 Importancia	II-54
II.D.3 Origen y características	II-54
II.E Corrientes	II-57
II.E.1 Corrientes por marea	II-58
II.E.2 Corrientes producidas por el oleaje	II-59
Ejercicios resueltos	II-61
Ejercicios propuestos	II-74

III.- REGIMEN DE COSTAS

III.A Definición	III-1
III.B Características de la zona costera	III-1
III.C Transporte de sedimentos	III-4
III.C.1 Acción del oleaje sobre la playa	III-4
III.C.2 Zonas productoras y zonas consumidoras de sedimentos	III-5
III.C.3 Cuantificación del transporte de sedimentos	III-5
III.C.4 Evolución de la línea de costa	III-15
Ejercicios resueltos	III-18
Ejercicios propuestos	III-31

IV.- REGIMEN DE ESTUARIOS

IV.A Estuario	IV-1
IV.A.1 Componentes de un estuario	IV-2
IV.A.2 Tipos de estuario	IV-2
IV.B Características del funcionamiento estuarino	IV-3
IV.C Factores que afectan el funcionamiento estuarino	IV-3
IV.D Estabilidad del canal de acceso	IV-6
IV.D.1 Simulación del funcionamiento hidráulico	IV-6
IV.D.2 Método de Keulegan	IV-15

IV.D.3 Parámetros de estabilidad _____	IV-18
Ejercicio resuelto _____	IV-21
Ejercicio propuesto _____	IV-30
V.- OBRAS DE ABRIGO Y PROTECCION	
V.A Obras de abrigo _____	V-1
V.A.1 Clasificación _____	V-1
V.B Obras de protección _____	V-4
V.B.1 Obras paralelas a la playa _____	V-4
V.B.2 Obras perpendiculares a la playa _____	V-5
V.B.3 Obras de encauzamiento o escolleras _____	V-7
V.C Diseño de rompeolas _____	V-7
V.D Métodos constructivos _____	V-24
V.E Colocación de los materiales _____	V-26
V.F Diseño de muros verticales _____	V-28
V.G Diseño óptimo _____	V-31
Ejercicios resueltos _____	V-33
Ejercicios propuestos _____	V-44
VI.- MODELOS MARITIMOS PORTUARIOS	
VI.A Definición _____	VI-1
VI.B Clasificación _____	VI-1
VI.C Características del los modelos hidráulicos _____	VI-3
VI.D Instalaciones y equipo utilizados en los experimentos _____	VI-6
VII.- CONCLUSIONES _____	VII-7

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

BIBLIOGRAFIA

I.- INTRODUCCION

Un hecho especial de la naturaleza de nuestro planeta consiste en que casi el 80% del total de su superficie se encuentra cubierta por los mares y aceáños, mismos que representan una reserva de aproximadamente $1,500 \text{ Km}^3$ de agua.

En contraste con esta gran extensión superficial, el mar sólo tiene una profundidad media de 4000 m., lo cual indica que la superficie de la tierra aunque muy influenciada por la existencia de los aceáños, sólo está cubierta por una capa de agua que en términos relativos resulta extraordinariamente delgada. Sin embargo, esta piel de agua desempeña funciones muy importantes en la vida terrestre: sirve como depósito de calor suavizador del clima y como espacio vital para una abundante y variada vida animal y vegetal. Sirve asimismo como un lugar en el que se forman yacimientos de materias primas, minerales y orgánicas a la vez que funciona como un centro productor de energía.

Por otra parte, el mar a lo largo de sus costas es considerado como zona de esparcimiento y como elemento sustentador de los medios de transporte del tráfico marítimo.

Es por ello que prácticamente desde la aparición de los seres humanos, éstos han hecho uso de una o de otra forma del medio marino. En este sentido, la historia nos habla de diversos pueblos cuyo poderío se basaba en el conocimiento y dominio de los mares que bañaban sus costas; Roma, Grecia y Fenicia son un claro ejemplo de ello.

Con el paso del tiempo y a la par del desarrollo tecnológico, los aprovechamientos marinos tienden a intensificarse y diversificarse, agrupándose en los siguientes aspectos.

a) Explotación de recursos.

En este campo, las potencialidades que el mar ofrece son enormes, destacando la pesca de diversas especies como la forma más antigua de aprovechamiento del medio marino. Aunque con las nuevas tecnologías, ésta se realiza a gran escala y constituye un factor muy importante en la economía de muchos países.

Otro de los recursos que el mar nos ofrece son los hidrocarburos, tales como el petróleo, el gas y sus derivados, que en la actualidad son las principales fuentes de energía

Los combustibles minerales, como el carbón mineral, que fué usado como energético aún antes que el petróleo y el gas, tienen bajo el mar yacimientos análogos a los continentales que, en muchos casos, son continuación de éstos.

Dentro de los elementos disueltos en el agua se utiliza ampliamente la sal común, el magnesio, el bromo y el potasio, aunque estos últimos en pequeñas cantidades; al mismo tiempo se cuenta con reservas potenciales de algunos minerales disueltos, como cobre, uranio, oro, etc., que podrían utilizarse en un momento dado.

La utilización del agua reviste gran importancia, pues con ella es posible enfriar centrales eléctricas ya sea térmicas o nucleares, se genera energía asociada a sus movimientos (oleaje, marea, etc.) y se obtiene agua potable a partir del agua de mar. Este aprovechamiento aunque aún resulta bastante costoso, se realiza a gran escala en los países de clima desértico como son los del medio oriente y norte de Africa.

b) Navegación.

La navegación es otra de las actividades que se desarrolla

aprovechando el medio marino: Se acostumbra clasificarla en: turística, militar y comercial. En este último aspecto ha tenido un gran desarrollo debido al transporte masivo de mercancías y a que la navegación constituye el medio de transporte más económico en relación con los otros ya existentes.

c) Para fines recreativos y turísticos.

El mar es por excelencia un centro de atracción para vacacionar y descansar, en este aspecto se pueden realizar diversas actividades recreativas como son: buceo, veleo, pesca deportiva, etc. Esto atrae gran cantidad de turistas no sólo nacionales sino también internacionales propiciando con ello el desarrollo de la llamada industria turística o "industria sin chimeneas".

En todos estos aprovechamientos, la participación del Ingeniero Civil resulta imprescindible, pues se precisa construir gran cantidad de obras en las cuales es necesaria la aplicación de conocimientos de diversas disciplinas, como pueden ser: la topografía, la mecánica de suelos y como parte preponderante, la Ingeniería Portuaria y la Hidráulica Marítima.

El tener estos conocimientos permitirá al ingeniero proyectar y construir obras mediante las cuales no sólo se aproveche si no también se conserve el medio marino.

Con la idea de contribuir al logro de este fin, se presenta este trabajo, mismo que trata los conocimientos básicos de la mecánica de las ondas, el régimen de costas, régimen de estuarios, obras de abrigo y protección y por último se hace un análisis para resaltar la importancia que para esta rama de la ingeniería tienen los modelos hidráulicos marítimos.

II.- ENTORNO FISICO

II.A.- ESTUDIOS DE CAMPO

Como ya se apuntaba en la parte introductoria, en un proyecto de desarrollo portuario es necesario conocer el medio que se pretende aprovechar. Comenzando con los estudios del potencial de desarrollo de diversos lugares.

Dentro de estos estudios que pueden abarcar muchos otros aspectos se encuentran los que permiten conocer todas las características físicas de la zona, y que son:

II. A. 1. - ESTUDIOS HIDROGRAFICOS Y TOPOGRAFICOS

Con estudios de este tipo se puede obtener datos sobre la batimetría, es decir, conocer las diversas profundidades en el mar o en un río, de tal manera que nos permitan detectar los accesos marinos y los posibles emplazamientos para las instalaciones portuarias.

En la actualidad la mayoría de los levantamientos batimétricos se realizan mediante sondas acústicas montadas en un buque. Sin embargo, todavía se utiliza el método de sondeo con sondaleza, especialmente en lugares difíciles y cerca de estructuras existentes.

Es necesario que también se realicen levantamientos topográficos para determinar: puntos en el litoral, zonas terrestres que interesa a las obras portuarias, accesos fluviales, accesos por carretera y ferrocarril, etc.

II. A. 2. -ESTUDIOS METEOROLOGICOS.

Aunque en la mayor parte de las regiones habitadas del mundo existen registros meteorológicos, siempre será conveniente que para un lugar de particular interés se instale un anemómetro, un pluviógrafo y un pluviómetro para registrar las condiciones meteorológicas y poder utilizarlas ya sea en la etapa de construcción o durante la actividad del puerto.

Para proyectar obras de ingeniería marítima es importante conocer

la frecuencia y la fuerza de las tempestades. El anemómetro de registro continuo nos permitirá conocer las direcciones y velocidades de los vientos y la duración de las ráfagas.

II. A. 3. - ESTUDIOS GEOTECNICOS.

El conocer el tipo de suelo puede determinar el emplazamiento o la forma física de una obra de ingeniería marítima. Los principales métodos para realizar un estudio geotécnico son los siguientes.

a) Pozos de sondeo con barrena y cuchara. Utiliza un cabezal cortador cilíndrico y barrenas para perforar la roca. Se obtienen muestras no perturbadas para un examen cuidadoso.

b) Pozos de sondeo por perforaciones. Se utiliza una barrena templada para obtener muestras. Este método aporta datos muy exactos, pero es lento y costoso.

c) Pruebas penetrométricas. Para estudiar subsuelos blandos. Se introduce un cono en el subsuelo mediante presión constante.

d) Pruebas con paletas. Esta prueba nos permite conocer la resistencia del suelo al esfuerzo cortante. Para evitar la perturbación estructural de la muestra, se perfora un pozo, posteriormente se introduce un dispositivo de cuatro paletas y se hace girar hasta que el suelo se derrumba, lo que da una medida de la resistencia.

e) Exploración geofísica. Proporciona información sobre los límites entre los estratos, pero ésta debe complementarse con otro tipo de estudios.

II. A. 4. - ESTUDIOS CON MODELOS HIDRAULICOS.

Un capítulo del presente trabajo trata de la finalidad y de la importancia de este tipo de estudios.

II. A. 5. - ESTUDIOS OCEANOGRAFICOS.

La oceanografía es el estudio del comportamiento del mar y abarca una amplia gama de fenómenos naturales, siendo los más importantes

debido a sus efectos sobre las obras portuarias: el oleaje, las corrientes y las mareas. Estos fenómenos pueden estudiarse cuando no han sido afectados por el fondo marino, lo que constituye la Oceanografía de aguas profundas, o cuando el fondo del mar ya a afectado su desarrollo conociéndose esto último como Oceanografía de aguas bajas o Hidráulica marítima y que nos permite analizar las condiciones del oleaje en las inmediaciones de la costa, considerando otro fenómeno de suma importancia conocido como deriva litoral o transporte de sedimentos.

II.B.- LOS MOVIMIENTOS DEL OCEANO; SUS CAUSAS Y SU NATURALEZA

II.B.1.- OLAJE.

Movimiento ondulatorio provocado por la acción del viento, el cual es producto de los desequilibrios atmosféricos, que a su vez son consecuencia de una desigual absorción del flujo energético que la tierra recibe del sol, fig.II.1.

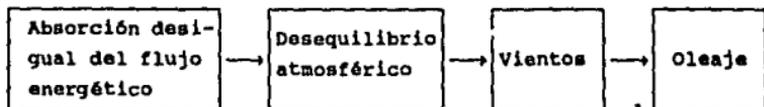


Fig. II.1

II.B.2.- CORRIENTES.

En este caso el flujo energético desigualmente absorbido produce desequilibrios en las características físicas del mar, alterando la temperatura y la salinidad en un área concreta del océano, modificando con ésto la salinidad de las aguas. Los desequilibrios hidrostáticos que de ello resulta, son causa de este

movimiento, fig.II.2.



Fig.II.2

II. B. 3. - MAREAS.

Las mareas son movimientos que se deben a fuerzas de origen astronómico, en concreto a la atracción gravitacional del sol y la luna sobre la tierra.

II. B. 4. - MAREMOTOS O TZUNAMIS.

Es un oleaje extraordinario y excepcional provocado por derrumbes y perturbaciones sísmicas en el fondo del mar.

II.C.- OLAJE

II. C. 1. - CARACTERISTICAS.

De acuerdo con su carácter ondulatorio, las olas tienen las siguientes características, fig.II.3.

d : Profundidad.

X,Y : Sistema de referencia, donde el eje X corresponde al nivel de aguas tranquilas.

H : Altura de la ola

L : Longitud de la ola

T : Período

P(x,y) : Coordenadas de un punto P.

U : Velocidad horizontal del punto P(X,Y).

V : Velocidad vertical del punto $P(X,Y)$

Y_s : Ordenada de la superficie libre

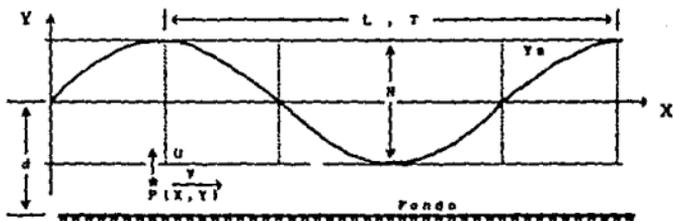


Fig. II.3.

II. C. 2. - FORMACION DEL OLEAJE.

Al trasladarse las masas de agua sobre el mar, las pequeñas diferencias de presión y de fricción entre aire y agua producen fuerzas sobre la superficie, las cuales ponen en movimiento las partículas de agua. Al increparse la superficie del mar, el viento ejerce fuerzas de empuje sobre la parte posterior de las olas y de succión sobre la parte frontal. Dichas fuerzas van aumentando al crecer la ola y al oponer ésta cada vez una área mayor a la acción del viento, hasta que llega a un estado de equilibrio entre las fuerzas de arrastre debidas al viento y las de la gravedad del agua, fig. II.4.

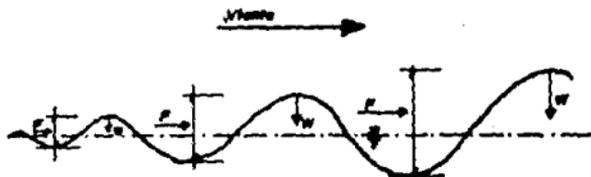


Fig. II.4

II. C. 3. - FACTORES EN LA FORMACION DEL OLEAJE.

Son tres los principales factores: la velocidad del viento, la duración de su acción y el área sobre la que actúa (Fetch). En términos generales; a mayor velocidad y duración del viento y mayor longitud de fetch, mayores serán la altura, la velocidad y la longitud de la ola.

II. C. 4. - CLASIFICACION.

a) En cuanto a movimiento.

1.- *Olas progresivas.*- Son aisladas y en ellas existe movimiento masa, fig. II.5a.

2.- *Olas estacionarias.*- Se generan sucesivamente formando trenes de olas. En ellas no hay desplazamiento de masa, fig. II.5b.

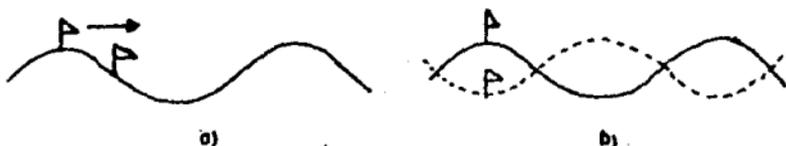


Fig. II.5

b) En cuanto a fuerzas generadoras.

1.- *Olas forzadas.*- Son las inmediatamente producidas por la acción del viento. Es decir que requieren de la acción constante de la fuerza para su propagación.

2.- *Olas libres.* - Son olas inducidas por las olas forzadas en zonas donde la acción del viento ya no es directa.

c) Clasificación en cuanto al período (según Kinsmas).

TABLA II-1

Nombre	Período (seg.)	Fza. generadora	Fza. amortiguadora
Capilares	0.1 - 0.5	Viento	Tensión superf.
Infragravedad	0.5 - 1.0	Viento	T. superf. y grav.
Gravedad	1.0 - 15	Viento	Gravedad
Ultragravedad	15.0 - 60.0	Viento	Fza. de Coriolis y gravedad.
Largo período	1 min-24 h..	Sismos, derrumbes o atracción gravitacional	Fza. de Coriolis

d) Clasificación en cuanto al período (Según Munk)

TABLA II-2

Nombre	Período (seg.)	Fuerza generadora
Riples	0.1 - 4.0	Viento
Sea	5.0 - 15.0	Vientos locales
Swal	6.0 - 20.0	Vientos distantes
Tsunamis	5 - 20 min.	Sismos y derrumbes
Mareas	12 - 24hrs.	Atracción gravitacional

e) En cuanto a profundidad.

- En aguas profundas
- En aguas intermedias
- En aguas bajas

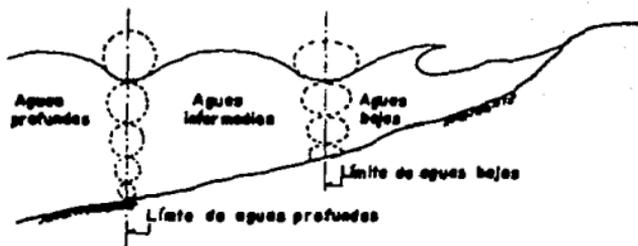


Fig.II.6

Cabe aclarar que es difícil establecer límites entre los diferentes tipos de olas. Todas ellas constituyen diversos aspectos de un mismo fenómeno natural muy complejo y extenso, pero que es preciso clasificar aunque sea hipotéticamente para facilitar su estudio.

II.C.5.- TEORIA DEL OLEALE.

Debido a la complejidad en la naturaleza del océano, su descripción matemática presenta ciertas dificultades. Sin embargo se han desarrollado teorías que aunque idealizando el fenómeno, permiten mediante su aplicación obtener resultados satisfactorios.

a) Teoría lineal de pequeña amplitud.

Esta teoría fué desarrollada por Airy en 1845 y es la de mayor aplicación en casos prácticos comunes ya que se ajusta bastante bien al comportamiento real de las olas cuando se encuentran en profundidades infinitas. Las hipótesis de partida son las siguientes.

- 1.- El fluido es homogéneo e incompresible, por lo tanto la densidad es constante.
- 2.- La presión en la superficie libre es uniforme y constante.
- 3.- El fluido es ideal, es decir la viscosidad vale cero.
- 4.- La onda no se relaciona con ningún tipo de movimiento del agua.
- 5.- El fondo es horizontal, fijo e impermeable, la velocidad vertical en el fondo vale cero.
- 6.- La forma de la onda es invariable en el tiempo y en el espacio. La amplitud (H) es pequeña en relación a la profundidad ($H \ll d$).
- 7.- Las ondas son bidimensionales (X,Y).
- 8.- Se desprecia la tensión superficial ($K=0$).
- 9.- Se desprecia el efecto de Coriolis ($F_c=0$).

Para el análisis se considera que cada partícula con coordenadas X,Y describe una órbita elíptica alrededor de su centro de oscilación X_0, Y_0 con un período $T=2T'$ y longitud de onda $L=2L'$. fig.II.8

$$X = X_0 + r \operatorname{sen} \varphi \text{ ----- (2,1)}$$

$$Y = Y_0 + r' \operatorname{sen} \varphi \text{ ----- (2,2)}$$

$$\varphi = \pi \left(\frac{X_0}{Y_0} - \frac{t}{T'} \right) \text{ ----- (2,3)}$$

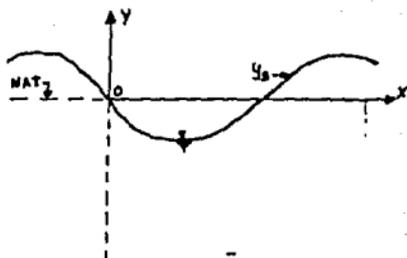


Fig. II.7

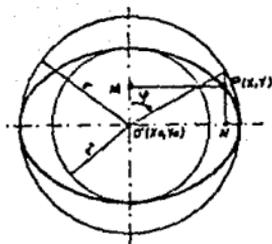


Fig. II.8

Las ecuaciones (2,1), (2,2) y (2,3) definen cinemáticamente el movimiento y cumplen con las condiciones generales de la hidráulica para flujos perfectos. Estas condiciones son:

Continuidad.- Establece la conservación de la masa en un fluido al moverse o deformarse, es decir.

$$\frac{\partial X}{\partial X_0} \frac{\partial Y}{\partial Y_0} - \frac{\partial X}{\partial Y_0} \frac{\partial Y}{\partial X_0} = \text{Independiente del tiempo (2,4)}$$

Condición de equilibrio dinámico.

$$-\rho \frac{d^2 X}{dt^2} = \frac{\partial P}{\partial X} \text{----- (2,5)}$$

$$\rho \left(-g + \frac{d^2 Y}{dt^2} \right) = \frac{\partial P}{\partial Y} \text{----- (2,5a)}$$

Condición de presión constante en la superficie.

$$\frac{\partial P}{\partial X_0} = 0 \text{----- (2,6)}$$

De la aplicación de estas tres últimas ecuaciones a las ecuaciones (2,1), (2,2) y (2,3) se deduce que para un cumplimiento exacto de las condiciones generales de la hidráulica es preciso que se cumpla la siguiente igualdad.

$$r = r' = h e^{\frac{\pi Y_0}{L'}} \text{ ----- (2,7)}$$

$h = \frac{H}{2}$, para $Y_0 = 0$, con lo cual podemos concluir lo siguiente:

1.- Las órbitas han de ser circulares para tal cumplimiento exacto.

2.- Para la condición de movimiento vertical nulo $r = r' = 0$ se requiere que $Y = \infty$.

En la práctica es suficiente que $\frac{Y_0}{L} \approx \frac{1}{2}$ para que el movimiento vertical se considere insignificante

1.- Ondas en aguas profundas

Si $Y_0 = d =$ profundidad finita, se estará en condiciones de aguas profundas cuando:

$$\frac{d}{L_0} \approx \frac{1}{2} \text{ y el límite de aguas profundas es } LAP = \frac{L_0}{2}$$

Donde L_0 es la longitud de onda en aguas profundas

De la condición de presión constante y equilibrio dinámico y considerando que $r = r'$ se obtiene.

$$\left(\frac{r \pi}{g T'^2} - \frac{r}{L_0} \right) \text{ sen } \varphi = 0$$

$$\therefore T' = \sqrt{\frac{\pi}{g} L_0}, \quad T' = \frac{T}{2} \quad \text{y} \quad L_0 = \frac{L}{2}$$

$$\therefore \frac{T}{2} = \sqrt{\frac{\pi}{g} \frac{L_0}{2}} = \sqrt{\frac{2 \pi L_0}{g}}$$

Finalmente
$$\boxed{L_o = \frac{g T^2}{2 \pi}} \text{ ----- (2,8)}$$

Co = Lo T, sustituyendo esta ecuación en la anterior resulta.

$$\boxed{Co = \frac{g T}{2 \pi}} \text{ ----- (2,9)}$$

En el sistema métrico $L_o = 1.56 T^2$ ----- (2,10)

$$Co = 1.56 T \text{ ----- (2,10a)}$$

Donde:

Lo : Longitud de la onda en aguas profundas.

To : Período de la onda en aguas profundas.

Co : Celeridad de la ola en aguas profundas.

2.- Ondas en aguas intermedias:

Cuando $\frac{d}{L_o} \leq \frac{1}{2}$ se acepta que existe un movimiento vertical considerable. Es decir que r es diferente a r' y por lo tanto.

$$T' = \sqrt{\frac{\pi L}{g} \coth \pi \frac{d}{L'}} \text{ , pero } L' = \frac{L}{2} \text{ y } T' = \frac{T}{2}$$

$$\therefore T = \sqrt{\frac{2 \pi L}{g} \coth \frac{2 \pi d}{L}} + \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{L^2}{\frac{2 \pi L}{g} \coth \frac{2 \pi d}{L}}}$$

$$\therefore C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{g L}{2 \pi} \tanh \frac{2 \pi d}{L}}$$

introduciendo $L = C T$ se

$$\text{tiene: } C = \sqrt{\frac{g C T}{2 \pi} \tanh \frac{2 \pi d}{L}}$$

elevando al cuadrado ambos miembros se tiene finalmente la siguiente ecuación.

$$C = \frac{g T}{2 \pi} \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} \quad \text{-----} \quad (2,11)$$

Y ∴

Ecuaciones aplicadas

$$\text{cuando } \frac{1}{25} \leq \frac{d}{L_0} \leq \frac{1}{2}$$

$$L = \frac{g T^2}{2 \pi} \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} \quad \text{-----} \quad (2,12)$$

3.- Ondas en aguas bajas.

Si d es muy pequeño, $\operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} \approx \frac{2 \pi d}{L}$. Sustituyendo esto

en $C = \sqrt{\frac{g L}{2 \pi} \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L}}$ se tiene $C = \sqrt{\frac{g L}{2 \pi} \frac{2 \pi d}{L}}$

$$C = \sqrt{g d} \quad \text{-----} \quad (2,13)$$

Ecuaciones para $\frac{d}{L_0} \leq \frac{1}{25}$

$$L = T \sqrt{g d} \quad \text{-----} \quad (2,14)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2,8 y 2,9 en las ecuaciones 2,11 y 2,12 :

$$C = C_0 \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} + \frac{C}{C_0} = \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L}$$

$$L = L_0 \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} + \frac{L}{L_0} = \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L}$$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} = \operatorname{tanh} \frac{2 \pi d}{L} \quad \text{-----} \quad (2,15)$$

Introduciendo la función potencial ϕ

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \uparrow v + \frac{\partial v}{\partial y} dy \\ \boxed{P(x,y)} \\ \downarrow v \\ \leftarrow u \right. \end{array} & \begin{array}{c} y \\ \nearrow \\ x \end{array} & \frac{\partial \phi}{\partial x} = u \\
 \left. \begin{array}{c} dx \\ \rightarrow \\ u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \end{array} \right\} dy & & \frac{\partial \phi}{\partial y} = v
 \end{array}$$

Por el principio de continuidad.

$$u + v = u + \frac{\partial u}{\partial x} dx + v + \frac{\partial v}{\partial y} dy$$

$$\therefore \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad 6$$

$\frac{\partial \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial \phi}{\partial y^2} = 0$ Ecuación de Lagrange cuyas soluciones son :

$$\boxed{y = \frac{H}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)} \quad \text{-----} \quad (2,16)$$

$$\boxed{\phi = \frac{gH}{2\sigma} \frac{\cosh k(y+d)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma T)} \quad \text{----} \quad (2,17)$$

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \quad , \quad k = \frac{2\pi}{L}$$

Derivando la ecuación (2,17) con respecto a x se obtiene la velocidad horizontal.

$$\boxed{u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\cosh 2\pi \frac{y+d}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{T}{T} \right)} \quad \text{---} \quad (2,18)$$

Derivando la misma ecuación pero ahora con respecto a y se obtiene la velocidad vertical v .

$$v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\sinh 2\pi \frac{y+d}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad \text{--- (2,19)}$$

Las aceleraciones horizontal y vertical se obtienen derivando con respecto al tiempo t las dos ecuaciones anteriores.

$$\dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi H}{T^2} \frac{\cosh 2\pi \frac{y+d}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad \text{--- (2,20)}$$

$$\dot{v} = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\pi^2 H}{T^2} \frac{\sinh 2\pi \frac{y+d}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad \text{--- (2,21)}$$

4.- Fuerza de arrastre producida por un fluido en movimiento

Esta fuerza se puede calcular mediante la siguiente expresión.

Donde:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A u$$

F : Fuerza de arrastre.

C_d : Coeficiente de arrastre.

ρ : Densidad = $\frac{\gamma}{g}$.

A : Area expuesta.

u : Velocidad.

Para el caso de oleaje

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho \Lambda |u| u + C_m \rho v \dot{u} \text{-----} (2,22)$$

C_m : Coeficiente de inercia

v : Velocidad

\dot{u} : Aceleración

$C_d = C_m = 1$

Un resumen de las fórmulas obtenidas mediante la teoría de Airy se muestran en la tabla de la siguiente página. Los valores de las funciones hiperbólicas se obtienen de las tablas del anexo C.

- 1) $L = 1.56 T^2$ en el sistema métrico.
 2) VELOCIDAD DE GRUPO. Velocidad con que se desplaza un grupo de olas, la cual generalmente siempre es menor a la velocidad de una ola individual. La velocidad de grupo es importante debido a que es con ella con que se desplaza la energía del oleaje.

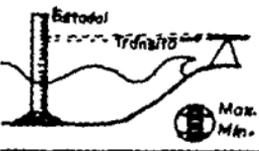
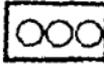
TABLA II-3

PROFUNDIDAD RELATIVA	AGUAS BAJAS $\frac{d}{L_0} < \frac{1}{25}$	AGUAS INTERMEDIAS $\frac{1}{25} < \frac{d}{L_0} < \frac{1}{2}$	AGUAS PROFUNDAS $\frac{d}{L_0} > \frac{1}{2}$
1.- PERFIL DE LA OLA	La misma que \longrightarrow	$y = \frac{H}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) + \frac{H}{2} \cos \theta$	\longleftarrow La misma que
2.- Celeridad DE LA OLA	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{g d}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{g T}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{g T}{2\pi} = 1.56 T$
3.- LONGITUD DE LA OLA	$L = CT = T \sqrt{g d}$	$L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$	$L = L_0 = C_0 T = \frac{g T^2}{2\pi} = 1.56 T^2$
4.- VELOCIDAD DE -- GRUPO	$C_g = C = \sqrt{g d}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4.56/L}{\sinh^2(2\pi d/L)} \right] C$	$C_g = \frac{1}{2} C_0 = \frac{g T}{4\pi}$
5.- VELOCIDAD DE LAS PARTICULAS DE -- AGUA	$U = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$U = \frac{H}{2} \frac{g}{L} \frac{\cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta$	$U = \frac{H}{4} \frac{2\pi y}{L} \cos \theta$
a) Horizontal	$U = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$U = \frac{H}{2} \frac{g}{L} \frac{\cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta$	$U = \frac{H}{4} \frac{2\pi y}{L} \cos \theta$
b) Vertical	$U = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$U = \frac{H}{2} \frac{g}{L} \frac{\sinh h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \sin \theta$	$U = \frac{H}{4} \frac{2\pi y}{L} \sin \theta$
6.- ACELERACION DE -- LAS PARTICULAS DE AGUA	$a_x = \frac{2\pi H}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$a_x = \frac{2\pi H}{T} \frac{g \cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \sin \theta$	$a_x = 2\pi \left(\frac{2\pi y}{L} \right)^2 \frac{2\pi y}{L} \sin \theta$
a) Horizontal	$a_x = \frac{2\pi H}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$a_x = \frac{2\pi H}{T} \frac{g \cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \sin \theta$	$a_x = 2\pi \left(\frac{2\pi y}{L} \right)^2 \frac{2\pi y}{L} \sin \theta$
b) Vertical	$a_y = -2\pi \left(\frac{2\pi y}{L} \right)^2 \left(1 + \frac{y}{d} \right) \cos \theta$	$a_y = -\frac{2\pi H}{T} \frac{g \sinh h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta$	$a_y = -2\pi \left(\frac{2\pi y}{L} \right)^2 \frac{2\pi y}{L} \cos \theta$
PROFUNDIDAD RELATIVA	AGUAS BAJAS $\frac{d}{L_0} < \frac{1}{25}$	AGUAS INTERMEDIAS $\frac{1}{25} < \frac{d}{L_0} < \frac{1}{2}$	AGUAS PROFUNDAS $\frac{d}{L_0} > \frac{1}{2}$
7.- DESPLAZAMIENTO DE LAS PARTICULAS DE AGUA	$\xi = -\frac{H T}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\sinh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\sinh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \sin \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{2\pi x}{L} \sin \theta$
a) Horizontal	$\xi = -\frac{H T}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\sinh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\sinh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \sin \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{2\pi x}{L} \sin \theta$
b) Vertical	$\xi = -\frac{H T}{2\pi} \left(1 + \frac{y}{d} \right) \cos \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{\sinh h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta$	$\xi = -\frac{H}{2} \frac{2\pi x}{L} \cos \theta$
8.- PRESION SUBSUPERFICIAL	$p = \frac{\rho g H}{2} \cos \theta - \gamma_0 g$	$p = \frac{\rho g H}{2} \frac{\cos h \left[\frac{2\pi(y+d)/L}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \right]}{\cosh h \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta - \gamma_0 g$	$p = \frac{\rho g H}{2} \frac{2\pi x}{L} \cos \theta - \gamma_0 g$
9.- ENERGIA DE LA OLA (por unidad de área)	La misma que \longrightarrow	$E = \frac{\rho g H^2}{8}$	\longleftarrow La misma que
10.- POTENCIA DE LA OLA (por unidad de área)	$P = E C_g = EC = \frac{\rho g H^2 L}{8 T}$	$P = E nC = \frac{\rho g H^2 L}{8 T} n = \frac{\rho g H^2}{8} C_g$	$P = \frac{1}{2} E C_0 = \frac{\rho g H^2}{16} (1.56 T)$

II. C. 6. - MEDICION DEL OLEAJE.

a) Estaciones de registro.

TABLA II-4

Tipo	Nombre	Esquema	Ventajas	Desventajas
C S T A C I O N E S	D L O M E T R O		Es sencilla su colocación y su lectura.	Se requiere de alguien para que realice las lecturas
	O L O G R A F O			Los problemas que presenta el uso de este aparato son los relativos a su mantenimiento
D E R E C I S T R O	O L O G R A F O		Son mas pequeñas que las anteriores. Son programables y almacenan la información en un casette	La información no puede obtenerse de forma inmediata.
	A L U T O R E G I S T R O			
	O L O G R A F O		Es de los sistemas más modernos y completos que existen para la medición del oleaje.	Son aparatos muy costosos

b) Cartas oceanográficas

Las cartas oceanográficas son una fuente de información de oleaje estadístico; editadas por diversas instituciones, presentándose a continuación dos de ellas.

1.- Ocean Waves Statistics.

Estas cartas fueron editadas por el Laboratorio Nacional de Física, Ministerio de Tecnología de la Gran Bretaña y contienen datos de oleaje registrados por tripulaciones de barcos que navegaron diversas rutas de todo el mundo durante los años 1953 a 1961. La información contenida en ellas tiene las siguientes características.

1.- Los datos reportados son: dirección, periodo y altura de oleaje; no haciendo ninguna distinción entre oleaje local (sea) y oleaje distante (swell).

2.- La información corresponde a diferentes zonas, tal como se muestra en la siguiente figura.

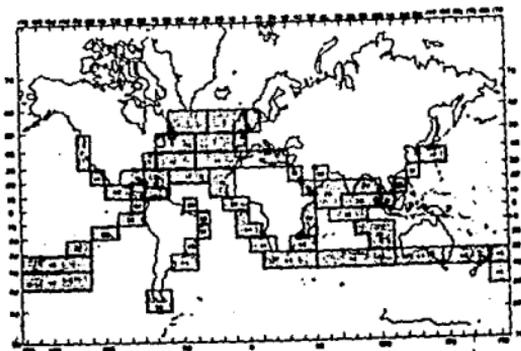


Fig. II.9

3.- Los datos se agrupan en diferentes periodos (régimen) de tiempo:

- Anual
- Invierno (diciembre - febrero)
- Primavera (marzo - mayo)
- Verano (junio - agosto)
- Otoño (septiembre - noviembre)

4.- Para la dirección se considera el azimut con variaciones de 10° y datos agrupados en sectores de 30° , por ejemplo 20° - 30° - 40° .

5.- El periodo y la altura de oleaje se presentan asignándoles los siguientes códigos.

TABLA II-5

CODIGO	PERIODO (seg.)	CODIGO	PERIODO (seg)
2	≤ 5	8	16 ó 17
3	6 ó 7	9	18 ó 19
4	8 ó 9	0	20 ó 21
5	10 ó 11	1	> 21
6	12 ó 13	X	Calma o no registradas
7	14 ó 15		

TABLA II-6

CODIGO	ALTURA DE OLA (m.)	CODIGO	ALTURA DE OLA (m.)
00	0.25	16	8.00
01	0.50	17	8.50
02	1.00	18	9.00
03	1.50	19	9.50
04	2.00	90	10
05	2.50	91	11
06	3.00	92	12
07	3.50	93	13
08	4.00	94	14
09	4.50	95	15
10	5.00	96	16
11	5.50	97	17
12	6.00	98	18
13	6.50	99	19
14	7.00		
15	7.50		

6.- El arreglo de la información se presenta de la siguiente forma.

TABLA II-7

DIRECCION		CODIGO DE PERIODOS	
C	D		T A D
O	E		O L E
D			T T
I	O	Matriz de observaciones para	A U O
G	L	cada período y para cada al-	L R L
O	E	tura de ola	E A E
S	A		S A
J			J
E			E
TOTALES PARA PERIODOS			

Con datos numéricos, y a manera de ejemplo, un registro para la dirección norte sería como sigue.

$350^{\circ} - 000^{\circ} - 010^{\circ}$

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	Σ
00	57	1								1	59
01	92	6	1							3	102
02	79	24	6	2	2				2		115
03	18	24	11	4							57
04	11	15	8	1							35
05	1	8	7	3							19
06		7	5	5							17
07	1	2	3								6
08			1	4							5
09		2	1	1	1		1				5
10			1	1							2
12			2								2
13			1								1
18				1							1
Σ	259	89	47	21	5		1		2	4	426

Tomando como base la tabla anterior se calculará la altura y periodo signficante. La altura y periodo signficante se definen en el a) del punto II.C.8.

ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (Hs)

1	2	3	4	5	6	7
CODIGO	H _i (m.)	d _i	f _i (%)	d _{11/3}	f _{11/3} (%)	f _{p1}
00	0.25	59	13.86			
01	0.50	102	23.94			
02	1.00	115	27.00			
03	1.50	57	13.38	49	11.51	17.26
04	2.00	35	8.22	35	8.22	16.44
05	2.50	19	4.46	19	4.46	11.15
06	3.00	17	3.99	17	3.99	11.97
07	3.50	6	1.41	6	1.41	4.93
08	4.00	5	1.17	5	1.17	4.68
09	4.50	5	1.17	5	1.17	5.26
10	5.00	2	0.47	2	0.47	2.35
11	5.50					
12	6.00	2	0.47	2	0.47	2.82
13	6.50	1	0.23	1	0.23	1.49
14						
15	7.50	1	0.23	1	0.23	1.72
Σ		426			33.33	80.07

H_i : Altura de ola en metros.

d_i : Número de observaciones de cada altura de ola H_i

f_i : Frecuencia de cada altura de ola H_i

$$f_i = \frac{d_i}{\sum d_i} \times 100$$

d_{11/3} : Número de observaciones para el tercio de olas más altas.

f_{11/3} : Frecuencia para el tercio de olas más altas.

$$f_i = \frac{d_{11/3}}{\sum d_i} \times 100$$

f_{p1} : Frecuencia ponderada de cada altura de ola H_i

$$f_{p1} = H_i d_{11/3}$$

$$\text{-Tercio de olas más altas} = \frac{\sum d_i}{3} = \frac{426}{3} = 142$$

-En la columna 5, los valores se suman en la dirección de la flecha hasta completar el tercio de olas más altas, que en este caso es 142.

-Los datos de la columna 6 se obtienen igual que los de la 4

-La altura de ola significativa (H_s) es:

$$H_s = \frac{\sum H_i d_{i1/3}}{\sum d_{i1/3}} = \frac{80.07}{33.33} = 2.40 \text{ m.}$$

De manera similar se calcula el período significativo.

1	2	3	4	5	6	7
CODIGO	T_i (seg)	d_i	f_i (%)	$d_{i1/3}$	$f_{i1/3}$ (%)	f_{Pi}
2	5	259	60.81			
3	7	89	20.89	64	15.03	105.21
4	9	47	11.03	47	11.03	99.27
5	11	21	4.93	21	4.93	54.23
6	13	3	0.70	3	0.70	9.10
7	15					
8	17	1	0.23	1	0.23	3.91
9	19					
0	21	2	0.47	2	0.47	9.87
1	21	4	0.94	4	0.94	19.74
Σ		426	100.00	142	33.33	301.33

T_i : Período de cada altura de ola en segundos.

El período significativo T_s o $T_{1/3}$ es.

$$T_s = T_{1/3} = \frac{\sum T_i f_{i1/3}}{\sum f_{i1/3}} = \frac{301.33}{33.33} = 9 \text{ seg.}$$

2. - Sea and Swell Charts.

Estas publicaciones son editadas por la marina de los Estados Unidos y contienen datos de oleaje registrados desde embarcaciones durante un periodo de 10 años.

A diferencia de las cartas Ocean Waves, éstas agrupan los datos dependiendo del tipo de oleaje: oleaje local u olas forzadas (sea) y oleaje distante u olas libres (swell); ver II.C.4.

Los datos registrados se refieren a una determinada zona. Para el caso de la República Mexicana corresponden 16 zonas de las cuales 10 son para el pacífico y 6 para el Golfo de México y Mar Caribe (fig. II.10)

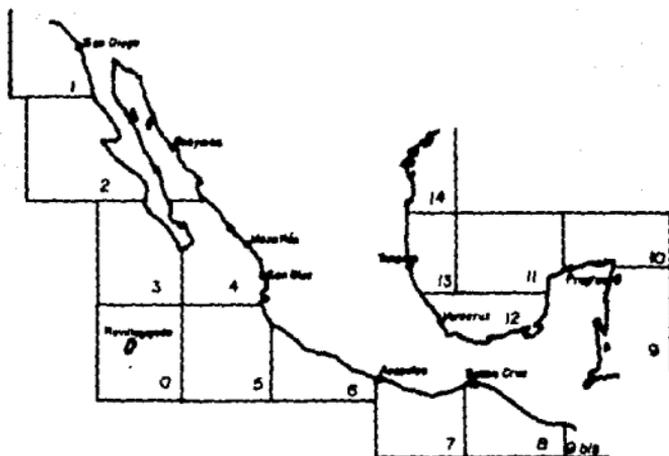


Fig. II.10

La información se representa mediante una rosa de oleaje. En ella se registran el tipo de oleaje, la dirección, el número de observaciones, la altura de ola y las frecuencias mensuales, resultantes de acumulación de datos durante el periodo de observación.

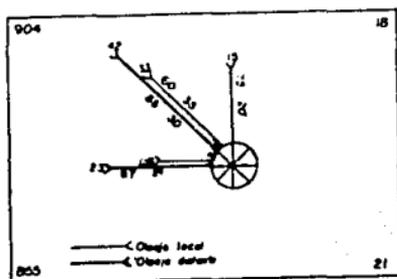


Fig. II.11. Rosa de oleaje.

Se consideran tres rangos de oleaje.

TABLA II-8

TIPO DE OLAJE	R A N G O		
	Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)
LOCAL	0.30 - 0.90	0.90 - 2.40	> 2.40
DISTANTE	0.30 - 1.82	1.82 - 3.65	> 3.65

En ambos tipos de oleaje se considera calma a una altura de ola menor de 0.30 m.

En la figura II.11 los datos son:

- El número total de observaciones del oleaje local para todos los

rangos y direcciones aparece en la parte superior izquierda (904); mientras que el porcentaje de calmas asociado aparece en la parte superior derecha (18).

- El número total de observaciones de oleaje distante para todos los rangos y direcciones aparece en la parte inferior izquierda (855); el porcentaje de calmas correspondiente aparece en la parte inferior derecha (21)

- Los datos que aparecen en un brazo de la rosa se leen como sigue:

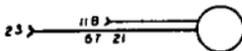


Fig. II.12

- Para el caso de la figura II.12, significa que para la dirección en estudio corresponden el 11% del total de las observaciones. Todas estas observaciones (100%) correspondieron a olas cuya altura se ubica dentro de rango bajo (B), ver tabla II-8.

- Para el oleaje distante se tuvieron el 23% del total de las observaciones. El 67% de esas observaciones corresponden a una altura dentro del rango bajo (B), el 21% en el rango medio (M) y el resto en el rango alto (A), ver tabla II-8.

A manera de ejemplo y tomando los datos de la figura II.11 se calcula la altura de ola significativa (H_s) para la dirección oeste y para un mes determinado.

Total de observaciones para oleaje distante (OBTod) = 855
 Calmas = 21
 Total de observaciones para oleaje local (OBTol) = 904
 Calmas = 18

Oleaje distante.

DIRECCION	POBT	OBT	OB/R	OB.T	T (hrs.)
W	23	196.65	67 (B)	131.75	55.23
			21 (M)	41.29	17.46
			12 (A)	23.30	9.98
NW	42	359.10	55 (B)	197.5	83.55
			30 (M)	107.73	45.57
			15 (A)	53.86	22.78
Calmas	21	179.55			75.95
Otras	14	119.70			50.62
TOTALES	100	855.00			361.64

DIRECCION	POBT	OBT	OB/R	OB.T	T (hrs.)
N	15	135.60	75 (B)	101.7	43.02
			20 (M)	27.12	11.47
			5 (A)	6.78	2.86
W	11	99.44	100 (B)	99.44	42.05
NW	33	298.32	60 (B)	178.99	75.71
			35 (M)	104.41	44.16
			5 (A)	14.92	6.31
Calmas	18	162.72			68.33
Otras	23	207.92			87.94
TOTALES	100	904.00			302.35

Donde:

POBT : Porcentaje de observaciones para esa dirección, en relación al total de observaciones.

OBT : Observaciones totales para esa direcci3n.
 OB/R : Porcentaje de observaciones por rango.
 OB.T : Observaciones totales para cada rango de oleaje.
 T : Tiempo de acci3n

$$T = \frac{OB.T \times Hrs./mes}{OBTol + OBTod}$$

C3lculo de la altura de ola significativa para la direcci3n oeste.

OBSR : Observaciones reales de oleaje

Para oleaje local OBSR = OBTol - Calmas

Para oleaje distante OBSR = OBTod - Calmas

Oleaje distante OBSR = 855 - 179.45 = 675.45

Rango de clase (m.)	Pto. medio de clase	Ancho de clase di	fc _i	fa _i	fr _i
(B) 0.30 - 1.82	1.060	1.52	131.76	131.76	0.1950
(M) 1.82 - 3.65	2.735	1.83	41.29	173.05	0.0611
(A) 3.65 - 4.86	4.255	1.21	23.60	196.65	0.0349

En donde:

fc_i : Frecuencia para cada rango de ola

fa_i : Frecuencia acumulada

fr_i : Frecuencia relativa

$$\text{Para oleaje local } fr_i = \frac{fr_i}{OBTol}$$

$$\text{Para oleaje distante } fr_i = \frac{fr_i}{OBTod}$$

Con los datos de la tabla anterior, se construye el histograma de

frecuencias.

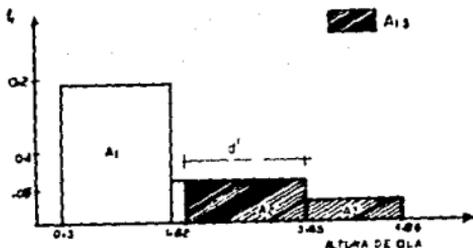


Fig. II.13

$$\text{Area total} = A_t = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_t = d_1 f r_1 + d_2 f r_2 + d_3 f r_3$$

$$= 1.52 \times 0.1950 + 1.83 \times 0.0611 + 1.21 \times 0.0349 = 0.4504$$

$$A_{1/3} = \frac{A_t}{3} = \frac{0.4504}{3} = 0.1501$$

$$A_3 = 0.0422 < 0.1501$$

$$A_3 + A_2 = 0.154 > 0.1501$$

∴ el tercio superior de olas es una parte de A_3 mas una parte de A_2 (fig II.13)

$$d' = \frac{A_{1/3} - A_3}{f r_2} = \frac{0.1501 - 0.0422}{0.0611} = 1.766$$

Tomando momentos de las áreas parciales que componen el tercio superior, se tiene.

$$\begin{aligned} \sum M_x &= H_{1/3} A_{1/3} = \sum H_i A_i \\ &= A_3 \times 4.255 + [(A_{1/3} - A_3) (3.65 - d'/2)] \end{aligned}$$

$$\therefore H_{1/3} = \frac{0.0422 \times 4.255 + (0.1501 - 0.0422)(3.65 - 0.883)}{0.1501}$$

Finalmente $H_{1/3} = 3.18 \text{ m.}$

Oleaje local, dirección oeste.

$$\text{OBS}_n = 904 - 162.72 = 741.28$$

Rango de clase (m.)	Pto. medio de clase	Ancho de clase d_i	f_{ci}	f_{ai}	f_{ri}
(B) 0.30 - 1.82	0.60	0.60	99.44	99.44	0.1341
(M) 1.82 - 3.65	1.65	1.50	0	99.44	0
(A) 3.65 - 4.86	3.00	1.20	0	99.44	0

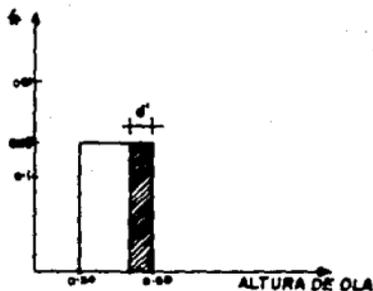


Fig. II.14

$$A_t = d_i f_{ri} = 0.60 \times 0.1341 = 0.0805$$

$$A_{1/3} = A_t/3 = \frac{0.0805}{3} = 0.0268 \quad d' = \frac{0.0268}{0.1341} = 0.2$$

$$\sum Mx = H_{1/3} A_{1/3} = (0.90 - d/2) A_{1/3} \quad H_{1/3} = 0.9 - 0.1$$

$$H_{1/3} = 0.8 \text{ m.}$$

II. C. 7. - REGIMEN DE OLAJE NORMAL.

Este tipo de oleaje, se caracteriza por que ocurre estacionalmente y se repite cíclicamente sin grandes variaciones. Debido a sus efectos sobre el transporte de sedimentos, este oleaje es el que determina la disposición de las obras de protección asociada a la forma y tiempo útil de operación del puerto.

a) Datos representativos.

Dada la gran irregularidad en cuanto a alturas, longitudes y periodos con que se presenta el oleaje, es necesario definir algunos datos representativos. Estos datos son .



Fig. II.15

1.- Altura de ola media (\bar{H})

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N} \quad (2,23)$$

2.- Altura de ola media cuadrática (H_{rms})

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i^2}{n}} \quad \text{-----} \quad (2,24)$$

3.- Altura de ola significativa. Es el promedio del tercio de olas más grandes.

$$H_{1/3} = H_s = \frac{\sum_{i=1}^Q H_i}{Q} \quad Q = \frac{N}{3} \quad \text{-----} \quad (2,25)$$

Existen también $H_{1/10}$, $H_{1/100}$. En general $H_{1/n}$ es la altura ola con probabilidad de excedencia $\frac{1}{n}$.

Para realizar los cálculos anteriores pueden utilizarse las siguientes fórmulas aproximadas.

$$H_{1/3} = 1.41 H_{rms} \quad \text{-----} \quad (2,25a)$$

$$H_{1/10} = 1.80 H_{rms} \quad \text{-----} \quad (2,25b)$$

$$H_{1/100} = 2.36 H_{rms} \quad \text{-----} \quad (2,25c)$$

De acuerdo con la distribución de probabilidad de Raleigh.

$$P(H) = \frac{2H}{H_{rms}} e^{-(H/H_{rms})^2} \quad \text{-----} \quad (2,26)$$

la probabilidad de que la altura H de una ola exceda un cierto valor H_n es:

$$P(H \geq H_n) = \int_n^{\infty} P(H) d(H) = \int_n^{\infty} \frac{2H}{H_{rms}^2} e^{-(H/H_{rms})^2} dH$$

$$\text{si } u = \left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2 \quad du = \frac{2H}{H_{rms}^2} dH$$

sustituyendo en la ecuación anterior e integrando se obtiene:

$$P(H \geq H_n) = e^{-(H/H_{rms})^2} \quad \text{-----} \quad (2,27)$$

Sea N el número de olas registradas y n el número de olas con alturas mayores que H_n .

$$P(H \geq H_n) = \frac{n}{N} = e^{-(H_n/H_{rms})^2} = \frac{n}{N}$$

$$\therefore -(H_n/H_{rms})^2 = L \frac{n}{N} = \frac{H_n}{H_{rms}} = \sqrt{-L \frac{n}{N}} = \sqrt{L \frac{N}{n}}$$

$$H_n = H_{rms} \sqrt{L \frac{N}{n}} \quad \text{-----} \quad (2,28)$$

Si $n = 1$, $H_n = H_{max}$.

$$H_{max} = H_{rms} \sqrt{L N} \quad \text{-----} \quad (2,29)$$

II.C.8. - REGIMEN DE OLEAJE EXTRAORDINARIO.

Este oleaje es el producido por las tormentas que pueden ocurrir en el sitio o en áreas vecinas y que de alguna manera incide en un lugar considerado. La información a cerca de este tipo de oleaje es fundamental para el diseño estructural de rompeolas y muros y puede

tener origen en:

- Observaciones en el sitio de estudio o en áreas vecinas a él.
- Dedución de datos mediante cartas sinópticas de tiempo y trayectorias ciclónicas.

Con los datos obtenidos y siguiendo métodos estadísticos se determina el régimen de oleaje extraordinario.

a) Generación del oleaje extraordinario.

De acuerdo con el punto II.C.3 los factores en la formación del oleaje son: el viento (U), la duración de la tormenta (D) y la longitud del fetch (F).

$$H = f(U, D, F)$$

$$T = f(U, D, F)$$

1.- El viento (U). Su dirección es función de la presión (medida en milibares), moviéndose desde los centros de alta presión hacia los centros de baja presión.

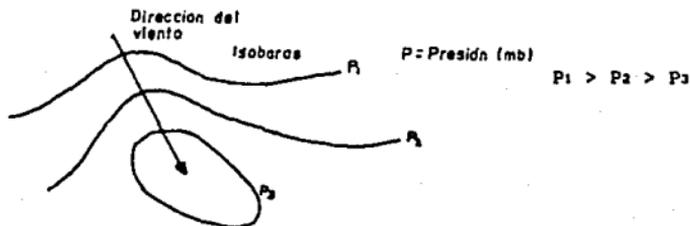


Fig. II.16

Las líneas que unen puntos de igual presión son las líneas isobaras y de acuerdo con cada fenómeno adoptan determinadas configuraciones. Siendo las más peligrosas las concernientes a los huracanes debido a que concentran mucha energía en una área muy reducida.

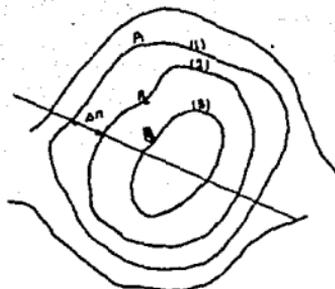


Fig. II.17

$$\Delta P_{1-2} = P_1 - P_2$$

$$\Delta P_{2-3} = P_2 - P_3$$

Δn = Distancia en grados de latitud entre isobaras.

$$\frac{\Delta P}{\Delta n} = \text{Gradiente bórico}$$

El gradiente bórico afecta principalmente a la velocidad del viento y se expresa en mm. de mercurio por grado terrestre o mb. por grado. Si por ejemplo la distancia entre las isobaras 1 y 2 está dada en Km. el gradiente en mm. por grado se obtiene con la siguiente ecuación.

$$\text{GB.} = \frac{P_1 - P_2}{\Delta n} \quad (2,30)$$

P_1 y P_2 en mm. de mercurio

GB en mm. de merc./grado terr.

Δn en Km

grado terrestre = 111.111 Km.

Notas:

-Para pasar de mb. a mm de merc. se toman 3/4 del número que indica la presión en mb.

Una atmósfera = 760 mm. = 1014 mb. = 1.033 Kg./cm²

Cuando el gradiente bórico (GB) es de 5 mm. de merc. por grado terrestre puede decirse que se trata de un huracán.

- Viento geostrófico (V_g).

Este viento es el que sopla a una determinada altura z sobre

la superficie del mar

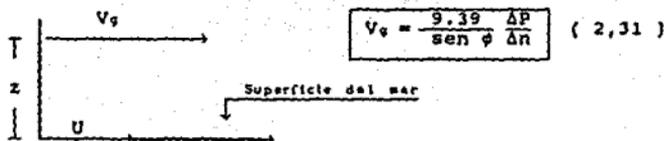


Fig. II.18

V_g : Viento geostrófico en nudos

ϕ : Localización del centro del huracán en grados de latitud

$\Delta P/\Delta n = GB =$ Gradiente bórico en mb./grdos de lat.

Finalmente

$U = C V_g$. para fines prácticos, $C = 0.6$

$$U = 0.6 V_g \quad \text{-----} \quad (2,32)$$

2.- Determinación del fetch.

Para determinar el área de generación se localizan puntos en los cuales las tangentes a las isobaras formen un ángulo de 45° con una línea dirigida hacia el sitio de interés.

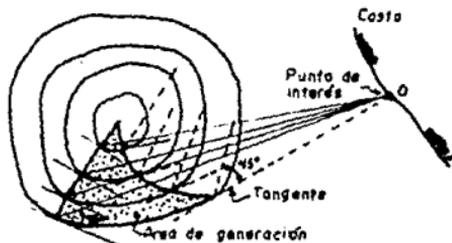


Fig. II.19

La máxima dimensión en dirección al sitio de interés será la longitud del fetch.

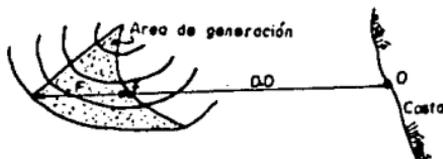


Fig. II.20

DD : Distancia de decaimiento en millas marinas

F : Longitud del fetch en millas marinas.

f : Punto en el que las olas abandonan la zona de generación

O : Punto de interés.

3.- Duración (D).

La duración es el período de tiempo en que el viento actúa sobre la zona de generación. Debido a que las cartas sinópticas se presentan a cada seis horas, la duración se considera de la misma magnitud.

b) Predicción del oleaje ciclónico. Método SMB.

La predicción del oleaje es el procedimiento de cálculo que se realiza para conocer las características del oleaje producido por un huracán. Para ello existen diversos métodos, pero uno de los más utilizados es el método SMB (Serdrup-Munk-Bretsneider), el cual se describe a continuación.

Conocidas la localización y las características de la perturbación mediante una carta sinóptica, se procede a calcular el viento real (U), la longitud del fetch (F), la distancia de decaimiento (DD) y se define la duración (D) .

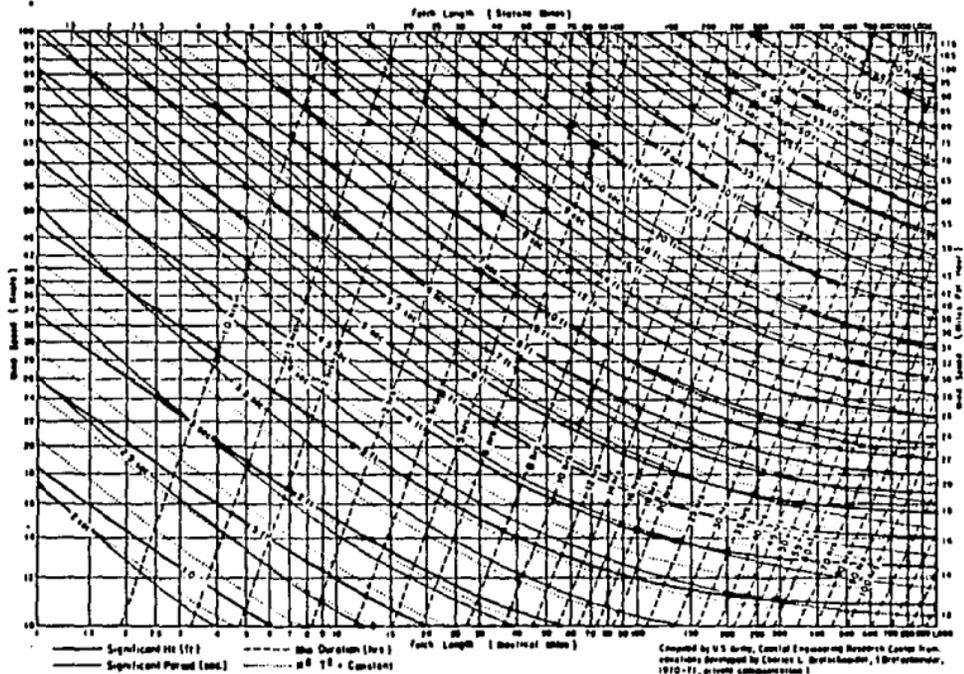


Figura 11.21 Curvas de predicción de oleaje; en función de la velocidad y duración del viento, para fetch de 1 a 1000 millas náuticas.

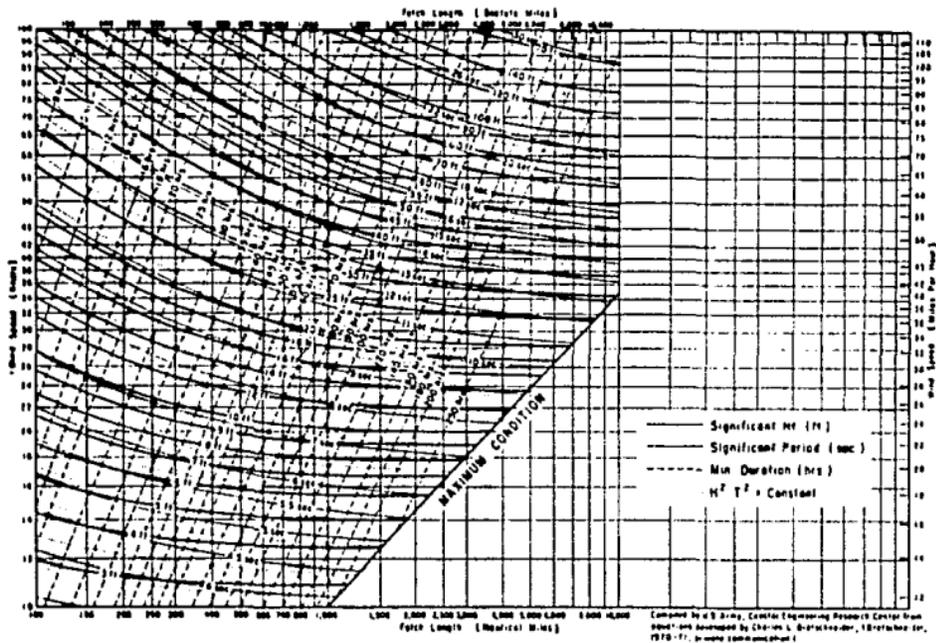


Figura II.22 Curvas de prediccion de oleaje; en función de la velocidad y duración del viento, para fetch mayores a 1000 millas náuticas.

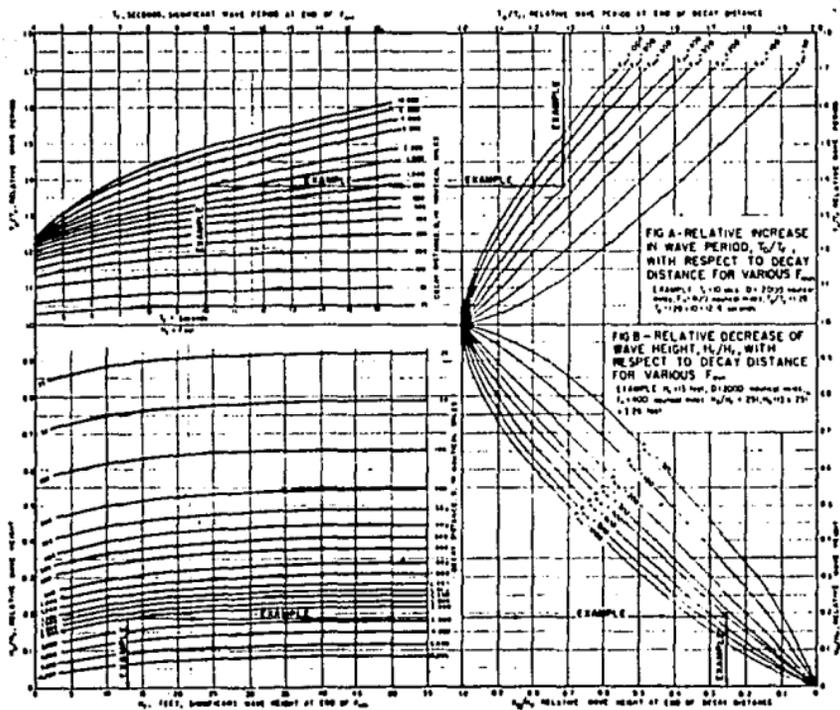


Figura II.23 Curvas de decaimiento

(Breitschneider, 1952o)

Para conocer la altura y el período del oleaje en el punto f (H_f y T_f) se utilizan las gráficas de la figs II.21 ó II.22 pudiendo presentarse dos situaciones.

1°.- Las características del oleaje en f (H_f y T_f) se definen en base al fetch calculado si para una velocidad real del viento (U) y una duración (D) encontramos mediante las gráficas una longitud de fetch mayor.

2°.- Si se acude a las gráficas con el fetch y la velocidad real del viento disponibles y encontramos una duración menor a la definida mediante la carta sinóptica. Las características del oleaje se rigen por el valor de esta última.

Una vez conocidos la altura y el período en el punto f utilizando las gráficas de la fig. II.23 se calculan estas mismas características en el punto de interés O , (H_o y T_o).

II.C.9. - FENOMENOS QUE MODIFICAN EL OLAJE.

a) Refracción.

Cuando una ola entra en la zona de aguas bajas, el fondo marino empieza a afectar el movimiento de las partículas de agua; haciendo que algunas partes de la cresta se desplacen con una longitud de ola más pequeña. Esto provoca que la cresta se deforme en su proyección horizontal tendiendo a ser paralela a las líneas batimétricas sobre las que se propaga. A este fenómeno se le llama refracción.

La importancia del análisis de la refracción del oleaje estriba en que nos permite:

- Determinar concentraciones de energía.
- Definir los ángulos de incidencia de los frentes de ola respecto a la línea de costa, con lo cual se puede calcular la magnitud y la tendencia del transporte litoral.

Métodos de análisis.

Todos los métodos de análisis para la refracción de oleaje están basados en la ley de Snell, clasificándose en dos grandes grupos: analíticos (Aplicación directa de la ley de Snell) y gráficos (Método de los frentes de ola), partiendo de las siguientes hipótesis.

- Ley de Snell

1.- La energía comprendida entre dos ortogonales es constante

2.- La dirección del avance de la ola es perpendicular a la cresta de la misma.

3.- La celeridad depende solo de la profundidad.

4.- Los cambios topográficos del fondo son graduales.

5.- Las olas son de cresta indefinida, período constante y pequeña amplitud.

6.- Los efectos debidos a las corrientes y vientos se desprecian.

En un tiempo t un punto de la cresta recorre una distancia L_0 desde A hasta B mientras que otro punto recorre una distancia L desde C hasta D siendo $L < L_0$. Como la hipotenusa de los triángulos ACB y CDB es la misma se deduce que:

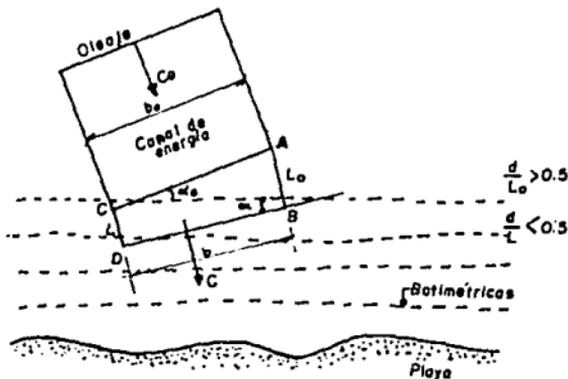


Fig. II.24

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{C}{C_0}$$

$$\therefore \alpha = \arcsin \left(\frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 \right) \text{ ----- (2,33)}$$

Donde:

α_0 : Es el ángulo entre la normal a la ortogonal y la curva batimétrica sobre la cual ha pasado.

α : Similar al anterior, pero medido cuando la ortogonal ha cruzado la siguiente curva batimétrica.

C_0 : Celeridad de la ola para la primera curva batimétrica.

C : Celeridad de la ola para la segunda curva batimétrica.

De acuerdo con la teoría lineal, la potencia transmitida por un tren de olas, está dada por.

$$P = CE \text{ y } E = \frac{1}{8} bH^2 \gamma \rightarrow P = C \frac{1}{8} bH^2 \gamma$$

Si la potencia entre las ortogonales permanece constante se tiene que:

$$P_0 = P$$

$$\therefore C_0 \frac{1}{8} b_0 H_0^2 \gamma = C \frac{1}{8} b H^2 \gamma$$

Despejando H tendremos:

$$H = H_0 \sqrt{\frac{b_0}{b} \frac{C_0}{C}}$$

$$\sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_r = \text{Coeficiente de refracción} \quad \text{---- (2,34)}$$

$$\sqrt{\frac{C_0}{C}} = K_s = \text{Coeficiente de fondo} \neq 1 \quad \text{---- (2,35)}$$

$$H = H_0 K_r K_s = H_0 K_r \quad \text{----- (2,36)}$$

$$b_0 = BC \cos \alpha_0$$

$$b = BC \cos \alpha \quad \therefore \frac{b_0}{b} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (2,34) se obtiene.

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad \text{----- (2,37)}$$

- Método del frente de olas .

Para la aplicación de este método se requiere de lo siguiente:

- Contar con el plano de la zona a una escala adecuada.
- Dirección y período del oleaje por refractar.
- Construir una regleta para la determinación de los frentes de ola.

La regleta se construye de un material transparente de acuerdo con el siguiente procedimiento .

1°.- Se calcula el valor del cateto menor (nL_0).

$$nL_0 = 0.0163 T/S^2 \quad \text{----- (2,38)}$$

Donde:

S : Escala del plano.

T : Período de la ola en segundos.

2°.- Por facilidad de manejo y lectura el cateto mayor y el cateto menor miden de 15 a 20 cm. y de 2.5 a 4 cm. respectivamente.

3°.- Se tabulan los diferentes valores d/L_0 de 0.5 a 0 obteniéndose los correspondientes de $\tanh 2\pi d/L$, los cuales se multiplican por la longitud del cateto mayor ($x = 15$ a 20 cm.), determinando así los valores de x_1 .

TABLA II-9

No	L_0 (m.)	d (m.)	d/L_0	$\tanh 2\pi d/L$	X (cm.)	X_1 (cm.)
1			0.5	1.00	15 a 20	$X \times 1.0$
2						
:						
1			d_1/L_0	$(\tanh 2\pi d_1/L)$		X_1
n			0			0

$$X_1 = X (\tanh 2\pi d_1/L)$$

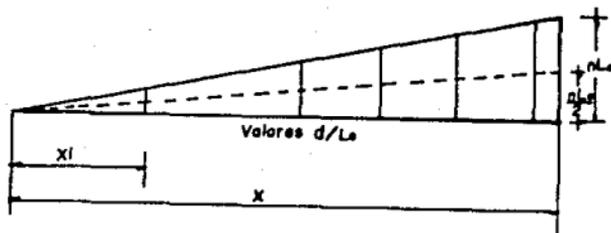


Fig. II.25

-Elaboración del diagrama de refracción. Figs. II.26 y II.27

1°.- Definir el límite de aguas profundas.

2°.- Con el fin de facilitar el trazo, anotar el valor d/L_0 en su correspondiente batimétrica.

3°.- En la dirección por analizar trazar un frente de ola recto en el límite de aguas profundas o fuera de él.

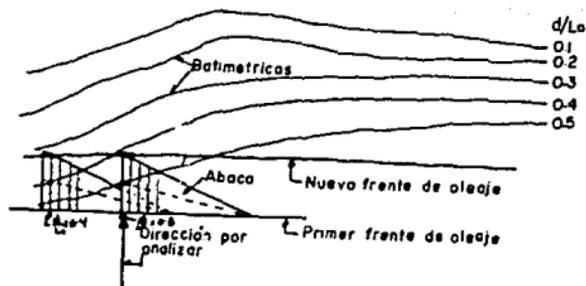


Fig. II.26

4°.- Colocar el ábaco por el lado de los valores d/L_0 (cateto mayor) haciéndolo coincidir tangencialmente con el primer frente de ola trazado según el punto anterior.

5°.- Se hace coincidir la batimétrica más cercana con su correspondiente valor d/L_0 en la línea punteada del ábaco, localizando en la hipotenusa del mismo un nuevo frente de ola.

6°.- Se desliza la regleta sobre el mismo frente de ola haciendo coincidir ya sea la misma u otras batimétricas con su correspondiente d/L_0 en la línea punteada, determinando nuevos puntos en la hipotenusa del ábaco. Uniendo estos puntos se obtiene el nuevo frente de ola.

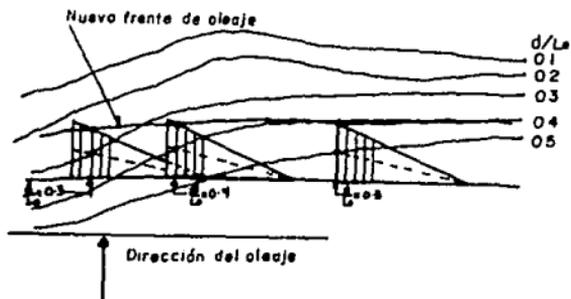


Fig. II.27

7°.- Apoyándose en este nuevo frente de oleaje se repiten los pasos 5° y 6° hasta localizar la última batimétrica.

8°.- Para obtener los canales de energía se trazan ortogonales a los frentes de oleaje a partir de la costa, tratando de cubrir el sitio de interés.

9°.- Los valores de a , α , b y b_0 se miden directamente en el plano, calculando a partir de ellos y de la ecuación 2.37, el coeficiente de refracción K_r .

b) Difracción.

La difracción es el fenómeno que afecta al oleaje cuando éste pasa por el extremo de un obstáculo ya sea natural (islas) o artificial (diques, rompeolas, etc.).

En la figura II.28 el oleaje que incide sobre el rompeolas transfiere una cierta cantidad de energía hacia la zona protegida presentándose en el punto $P(x,y)$ una altura de ola H_p menor que la altura de la ola incidente H_i . La relación entre estas dos alturas definen el coeficiente de difracción K_d .

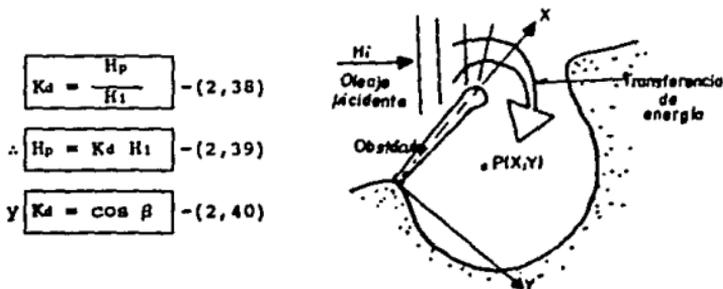


Fig.II.28

Donde β es el ángulo que forman el límite de expansión y la línea tangente al morro y que pasa por el punto P .

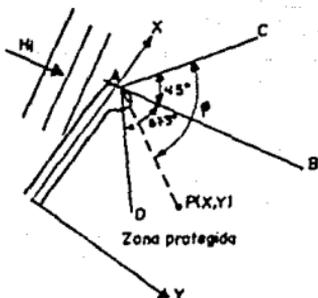


Fig. II.29

Definición de los límites de difracción. Fig.II.29

- 1.- Límite de expansión (\overline{AB}). Es la línea tangente al morro colineal con las ortogonales a los frentes de ola incidente.
- 2.- Límite de alimentación (\overline{AC}). Línea tangente al morro y que forma un ángulo de 45° respecto al límite de expansión.
- 3.- Límite de agitación (\overline{AD}). Línea tangente al morro y que forma con respecto al límite de expansión un ángulo de 57.3° (un radian).

Con la ayuda de los diagramas de las figuras del anexo A también se puede determinar el coeficiente de difracción. Estos diagramas han sido elaborados para diversos ángulos de incidencia de oleaje, así como para diversas relaciones r/L . La forma de utilizarlos es la siguiente, fig.II.28.

- 1°.- Contar con el plano de la zona por analizar.
- 2°.- Con el ángulo de incidencia y la relación r/L se escoge el diagrama correspondiente.
- 3°.- Este diagrama se amplía o reduce a la escala del plano en papel transparente.
- 4°.- Se superpone al plano aludido y se determina el coeficiente de difracción en el punto P.

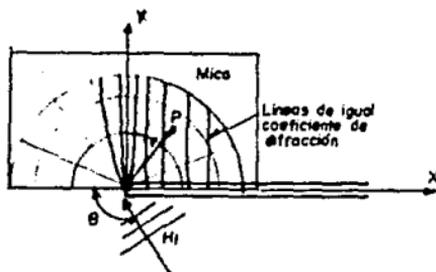


Fig. II.30

r : Distancia radial del extremo del rompeolas al punto P.
 L : Longitud de la ola en el extremo del morro.

Cuando se trata de recintos, el cálculo de K_d se pueda realizar tomando en cuenta los dos rompeolas (A y B), fig. II.31.

$$\begin{aligned} H_p &= K_{dA} K_{dB} H_i \\ K_{dA} &= \cos \beta_A \\ K_{dB} &= \cos \beta_B \end{aligned} \quad (2,41)$$

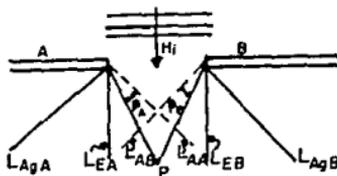


Fig. II.31

Donde:

K_{dA} : Coeficiente de difracción debido al rompeolas A
 K_{dB} : Coeficiente de difracción debido al rompeolas B

Utilizando los diagramas de las figuras del anexo B, las cuales se escogen en función de la relación entre el ancho B del acceso y la longitud L de la ola que se presenta en el morro. La forma de

utilización es prácticamente la misma que cuando se tiene un solo rompeolas, salvo que en este caso el diagrama se coloca en la misma dirección en la que incide el oleaje.

Para definir el ancho B del acceso pueden presentarse los siguientes casos .

-Cuando los frentes de ola no son paralelos al eje del rompeolas.

Aquí se toma
B' en lugar
de B.

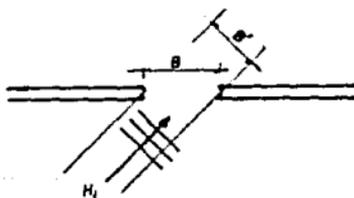


Fig. II.32

-Cuando los rompeolas no están alineados.

En este caso
B es la distan-
cia entre los morros.

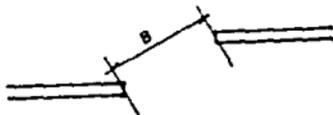


Fig. II.33

c) Reflexión.

En el tema que nos ocupa diremos que la reflexión es el cambio de dirección del oleaje cuando éste incide sobre una estructura o acantilado. Provocando que la altura de la ola reflejada H_a sea

mayor que la altura de ola incidente H_i , fig. II.34a.

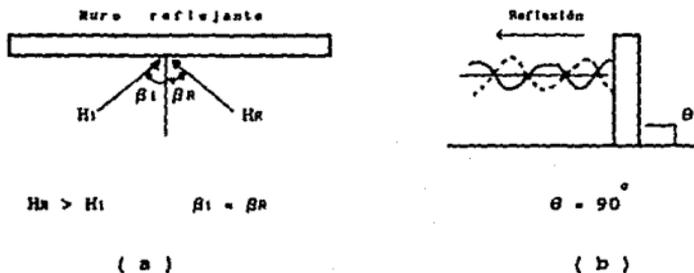


Fig. II.34

La relación entre H_R y H_i definen la cantidad de energía reflejada, expresada por el coeficiente de reflexión K_R .

$$K_R = \frac{H_R}{H_i} = \frac{\text{Altura de ola reflejada}}{\text{Altura de ola incidente}} \quad (2,42)$$

$$H_R = K_R H_i \quad (2,43)$$

K_R se puede obtener de la siguiente tabla en función del talud del muro reflejante.

TABLA II-10

Talud	K _π
0	2
1:1	1.8-1.9
2:1	1.6-1.8
3:1	1.3-1.6
10:1	1.05-1.1
30:1	1.02-1.03

En la fig. II.34a cuando $\beta=0$ y la pared reflejante es lisa y vertical, se produce la reflexión perfecta, que se manifiesta por la presencia de ondas estacionarias llamadas "clapotis"; formadas por la sobreposición de dos ondas progresivas de igual altura y periodo que avanzan en sentido contrario (fig.II-34b) duplicando así la altura de la ola incidente.

Lo anterior puede provocar el fenómeno de resonancia en las aguas interiores de un puerto, poniendo en peligro los muelles y las embarcaciones.

II.D.- MAREAS

II.D.1.-DEFINICION.

Aunque de una forma parcial se puede decir que la marea es la oscilación periódica del nivel del mar.



Fig. II.35

Esta variación de nivel puede presentarse para un determinado lugar una vez, dos veces diarias, o una combinación de ambos casos; provocando marea diurna, semidiurna y mixta respectivamente.

II.D.2.- IMPORTANCIA.

La importancia del estudio y conocimiento de las mareas puede ser por las siguientes razones.

- Reclamación de áreas costeras.
- Cierre de aperturas de accesos.
- Problemas de seguridad en las estructuras.
- Problemas de intrusión salina.

II.D.3.- ORIGEN Y CARACTERISTICAS.

El punto II.B.3 se refiere al origen de las mareas, en él se señala que éstas se deben a la atracción gravitacional del sol y de la

luna sobre la tierra.

Dependiendo de la fases de la luna, estos astros pueden sumar o restar sus efectos.



Fig. II.36.

-En cuarto creciente y cuarto menguante el sol y la luna no se encuentran alineados, no pudiendo sumar sus efectos de atracción sobre las partículas de agua. Este momento se dice que es el de las mareas muertas.

-En la luna nueva y llena el sol y la luna se encuentran alineados, sumando sus efectos, provocando con ello los más altos niveles de agua en promedio. Este momento es el de las mareas vivas.

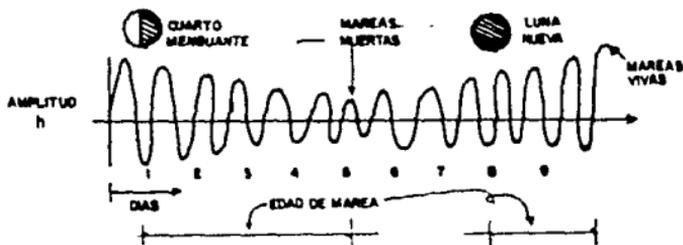


Fig. II.37

En la figura anterior puede observarse que las mareas vivas y muertas ocurren algún tiempo después de ocurrida la fase de la luna

que las origina. Este tiempo se le denomina edad de la marea y se debe entre otros factores al tiempo de viaje del area del polo sur al lugar considerado y a los efectos de amortiguamiento y reflexión.

Otro fenómeno que se presenta es el de las mareas de sisiglias, el cual ocurre en luna llena de equinoccio cuando el sol se encuentra mas cercano a la tierra. A este tipo de marea se le puede considerar como las máximas mareas vivas de todo el año. En consecuencia, en cuarto creciente y menguante de solsticio ocurren las mínimas mareas muertas.

De acuerdo con los párrafos anteriores se tienen los siguientes tipos de marea.

-Diurna.- Un pleamar y un bajamar por ciclo en 24 hrs. 50 min. en promedio.

-Semidiurna.- Un pleamar y un bajamar en un período de 10 hrs. 25 min. en promedio.

-Mixta.- Es una combinación de los dos tipos anteriores.

-La desigualdad diaria. Es la diferencia de altura entre dos pleamares o bajamares consecutivos.

Como variantes de los tipos de marea mencionados se tienen los siguientes.

-Marea viva. Es el máximo nivel que alcanza el agua en el mes, ocurrido algún tiempo (edad de la marea) después de la luna nueva o llena.

-Marea muerta. Mínimo nivel que alcanza el agua en el mes, tiempo después de ocurrido los cuartos creciente o menguante.

-Marea de sisiglias. Es el máximo nivel alcanzado durante todo el año.

-Marea de tormenta.- Es el aumento (o disminución) del nivel del agua arriba (o abajo) del nivel esperado debido a la acción de un viento ciclónico.

-Marea hidráulica.- Es el efecto que produce la onda de marea al propagarse en un estrecho o en un golfo que se angosta en su extremo (p.e. Golfo de Cortés).

-Niveles generados por las mareas.

Altura máxima registrada.- Nivel mas alto registrado debido al efecto de un tsunami o ciclón, combinado posiblemente con la marea astronómica.

Pleamar máxima registrada (PMR).- Máximo nivel debido a la marea.

Nivel de pleamar media superior (NPMS).- Promedio de la más alta de las dos pleamares diarias durante el período considerado.

Nivel medio del mar (NMM).- Promedio de todas las alturas durante el período registrado.

Nivel de bajamar media (NBM).- Promedio de todas las bajamares durante el período considerado.

Nivel de media marea (MM).- Promedio de pleamar media y bajamar media.

Nivel de bajamar media inferior (NBMI).- Promedio de la más baja de las dos bajamares diarias durante el período considerado.

Bajamar mínima registrada (BMR).- Nivel más bajo debido a la marea o a factores meteorológicos.

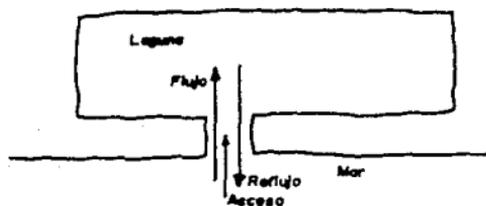
Altura mínima registrada.- Nivel más bajo registrado debido al efecto de un tsunami o ciclón combinado probablemente con la marea astronómica.

II.E.- CORRIENTES.

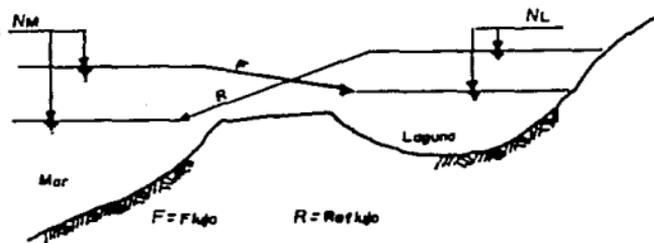
Las corrientes son movimientos de masas de agua, cuyo origen se describe en el apartado II.B.2 clasificándose como: corrientes oceánicas, corrientes inducidas por el viento, corrientes por mareas y corrientes en la costa producidas por el oleaje. Siendo estas dos últimas las de mayor importancia debido a los efectos provocados en los litorales.

II. E. 1. - CORRIENTES POR MAREA.

Se generan al variar el nivel del agua provocado por la marea, en zonas donde la comunicación con el mar abierto esta relativamente restringida (estuarios, bahías, entradas a puertos, desembocaduras de ríos, etc.), fig. II.38a.



a)



b)

Fig. II.38

Una característica importante de estas corrientes es su periodicidad de acuerdo con la marea que los provoca; fluyendo en dos sentidos: hacia la zona interna (flujo) cuando el nivel del agua sube y hacia mar adentro (reflujo) cuando desciende, figs. II.38 a y b.

La velocidad que una corriente de este tipo puede tener en un acceso, puede afectar la entrada de barcos, el transporte de sedimentos o provocar transporte de contaminantes.

II. E. 2. - CORRIENTES PRODUCIDAS POR EL OLEAJE.

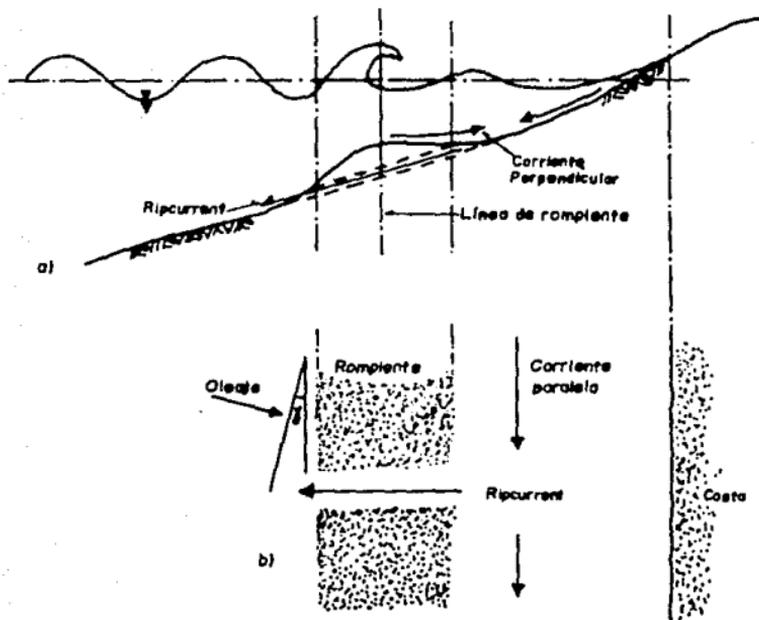


Fig. II.39

Cuando el oleaje rompe modifica sus características de transporte de masa líquida, provocando este tipo de corrientes.

En función de la dirección de su movimiento, se clasifican en dos tipos.

- a).-Corrientes normales a la costa.
- b).-Corrientes paralelas a la costa.

Las primeras se generan por la evacuación del volumen de agua exedente que ha sido acumulado contra la playa debido a la acción del viento y del oleaje. Esta evacuación o desalojo se manifiesta cuando el agua atraviesa la línea de rompiente en forma de chorro (ripcurrent o corriente de retorno), figs. II.39 a y b.

Las corrientes paralelas a la costa se deben principalmente a que el oleaje incide con un cierto ángulo (ángulo de refracción) con respecto a la playa, siendo la principal responsable de transportar los sedimentos a lo largo de la costa.

EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Calcular la longitud y la celeridad de la ola a una profundidad de 10 m. cuando el período es de 12 seg.

Solución.

$$L_0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 144 = 224.64 \text{ m.}$$

$$LAP = L_0/2 = 224.64/2 = 112.32 \text{ m.}$$

$$LAB = L_0/25 = 8.98 \text{ m.}$$

$8.98 < d = 10 \text{ m.} < 112.32$, \therefore se cumplen las condiciones de aguas intermedias

Con el valor $d/L_0 = 10/224.64 = 0.044$, se lee en las tablas del anexo C el correspondiente de $\tanh 2\pi d/L = 0.5015$.

$$\therefore L = 0.5015 \times L_0 = 0.5015 \times 224.64 = 112.66 \text{ m.}$$

$$C_0 = 1.56 \times 12 = 18.72 \text{ m.}$$

$$C = 18.72 \times 0.5015 = 9.4 \text{ m/seg.}$$

2.- Se registra una ola cuya longitud y período son de 100 m. y 10 seg. respectivamente. Calcular la profundidad del océano y de acuerdo con ello definir el tipo de ola que se tiene.

Solución.

$$\text{De la ec. } L = (g T^2/2 \pi) \tanh 2\pi d/L,$$

$$100 = g \cdot 10^2/2 \pi \tanh 2\pi d/L, \quad \therefore \tanh 2\pi d/L = 0.642$$

En las tablas del anexo C se lee $d/L = 0.1214$

$$\therefore d = L \times 0.1214 = 100 \times 0.1214 = 12.14 \text{ m.}$$

$$L_0/2 = 100/2 = 50, \quad L_0/25 = 100/25 = 4$$

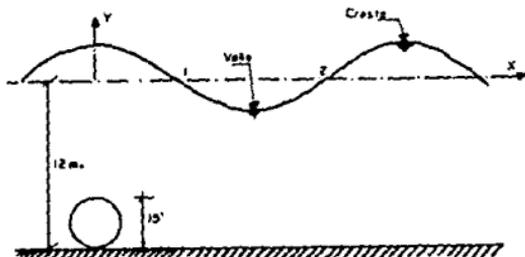
$4 < d = 12.4 \text{ m.} < 50$ \therefore se trata de una ola en aguas intermedias

3.-

a).- Calcular las velocidades y aceleraciones de las partículas de agua, en la cresta y en el primer nodo de la ola que

tiene una altura $H = 3$ m. y período $T = 10$ seg. con una profundidad de 12 m.

b).- Calcular la fuerza producida por el oleaje sobre una tubería que se encuentra a esa profundidad y cuyo diámetro es de 15".



Nota. Para este ejemplo se considerará el momento en que la cresta pasa sobre la tubería para $t = 0$.

Solución.

$$C_0 = 1.56 T = 1.56 \times 10 = 15.6 \text{ m/seg.}$$

$$L_0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 100 = 156 \text{ m.}$$

$$d/L_0 = 12/156 = 0.077, \text{ del anexo C se tiene } \tanh 2\pi d/L = 0.6392$$

$$\therefore L = 156 \times 0.639 = 99.7 \text{ m.}$$

$$C = 15.6 \times 0.6392 = 10 \text{ m/seg.}$$

$$\text{Dado que } 2\pi/L = 2\pi/99.7 = 0.063, \pi H/T = \pi 3/10 = 0.942$$

y $2\pi^2 H/T^3 = 2 \times 0.296 = 0.592$, permanecen constantes para cualquier condición de cresta o nodo, las ecuaciones para determinar las velocidades y aceleraciones se transforman en:

$$u = 0.942 \frac{\cosh 0.063(y+d)}{\sinh 0.063 d} \cos \theta \quad \dot{\theta} = 0.592 \frac{\cosh 0.063(y+d)}{\sinh 0.063 d} \sin \theta$$

$$v = 0.942 \frac{\sinh 0.063(y+d)}{\sinh 0.063 d} \sin \theta \quad \dot{v} = 0.592 \frac{\sinh 0.063(y+d)}{\sinh 0.063 d} \cos \theta$$

$$\text{Donde } \theta = 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

El proceso de cálculo de cada uno de los elementos se desarrolla en la siguiente tabla.

Parámetro	Cresta	Tubería	Nodo 1
x	0	0	L/4
t	0	0	0
	0	0	$\pi/2$
sen	0	0	1
cos	1	1	0
y,d	1.5, 12	-11.8, 12	0, 12
y+d	13.5	0.19	12
cosh 0.063(y+d)	1.384	1.00	1.30
sinh 0.063(y+d)	0.957	0.119	0.83
0.063 d	0.756	0.756	0.756
sinh 0.063 d	0.830	0.830	0.83
u	1.57	1.130	0
v	0	0	0.942
\dot{u}	0	0	0.930
\dot{v}	-0.682	0	0

b)

$$F = \frac{1}{2} C_s \rho A |u|u + C_v \rho V \dot{u}^2$$

De la tabla anterior $\dot{u} = 0$ $\dot{u}^2 = 0$

$$\rho = \gamma/g = 1030/9.81 = 105 \text{ utm.} \quad A = 0.38 * 1 = 0.38 \text{ m}^2$$

$$F = 0.5 * 105 * 0.38 * 1.13^2 = 25.5 \text{ kg.}$$

4.- Se quiere poner una boya en un lugar de 20 m. de profundidad. Calcular su movimiento para la onda de $T = 11$ seg. y $H = 6$ m., suponiendo que la cadena es lo suficientemente larga para permitirlo.

Solución:

$$L_0 = 1.56 \times 11^2 = 188.76 \text{ m.}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{20}{188.76} = 0.1064 \quad \text{de tablas, } \tanh \frac{2\pi d}{L} = 0.7252$$

los desplazamientos y las velocidades máximos se calculan con las ecuaciones de ondas en aguas intermedias (tabla II-3).

La boya flota en la superficie, por lo tanto: $d = 0$ cuando $t = 0$

$$\xi_{\max.} = \frac{H}{2} \frac{1}{\tanh \frac{2\pi d}{L}} = 3 \times 1.37 = 4.1 \text{ m.} \quad \text{para } X = \frac{L}{4}$$

$$\delta_{\max.} = \frac{H}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m.} \quad \text{para } X = 0$$

$$U_{\max.} = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\tanh \frac{2\pi d}{L}} = \frac{3.14 \times 6}{11} \times 1.37 = 2.35 \text{ m/seg.}$$

$$V_{\max.} = \frac{\pi H}{T} = \frac{3.14 \times 6}{11} = 1.71 \text{ m/seg.}$$

5.- Sea el siguiente registro de oleaje.

H (m.)	NE	N	NW
1	15	17	10
2	8	11	7
3	4	5	3
4	1	3	
5	0		

a).- Calcular \bar{H} , H_{res} y H_s para la dirección NE.

b).- Calcular las alturas de ola con probabilidad de excedencia de 0.1 y 0.01.

Solución:

H_i (m.)	f_i	$f_i H_i$	$f_i H_i^2$	q_i	$q_i H_i$	r_i	$r_i H_i$	s_i	$s_i H_i$
1	15	15	15						
2	8	16	32	7.3	14.6				
3	4	12	36	4	12.0	2.7	8.1		
4	1	4	16	1	4.0	1	4.0	0.37	1.48
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	28	47	99	12.3	30.6	3.7	12.1	0.37	1.48

a).- En términos de las frecuencias, las ecuaciones 2,23, 2,24 y 2,25 se transforman en:

$$\bar{H} = \frac{\sum f_i H_i}{\sum f_i}, \quad H_{rae} = \sqrt{\frac{\sum f_i H_i^2}{\sum f_i}}, \quad \text{y} \quad H_{\frac{1}{3}} = \frac{\sum q_i H_i}{\sum q_i}$$

$$\bar{H} = 47/28 = 1.67 \text{ m.}$$

$$H_{rae} = \sqrt{99/28} = 1.88 \text{ m.}$$

$$Q = 37/3 = 12.3 = \sum q_i$$

$$H_{\frac{1}{3}} = 30.6/12.3 = 2.5 \text{ m.}$$

b).- 0.1 se refiere a la décima parte del total del oleaje; es decir.

$$37/10 = 3.7 = \sum r_i$$

$$H_{\frac{1}{10}} = \frac{\sum r_i H_i}{\sum r_i} = 12.1/3.7 = 3.32 \text{ m.}$$

$$37/100 = 0.37 = \sum s_i$$

$$H_{\frac{1}{100}} = \frac{\sum s_i H_i}{\sum s_i} = 1.48/0.37 = 4 \text{ m.}$$

De manera aproximada se tiene:

$$\frac{H_1}{3} = 1.41 H_{rms} = 1.41 \times 1.88 = 2.6 \text{ m.}$$

$$\frac{H_1}{10} = 1.80 H_{rms} = 1.80 \times 1.88 = 3.4 \text{ m.}$$

$$\frac{H_1}{100} = 2.36 H_{rms} = 2.36 \times 1.88 = 4.4 \text{ m.}$$

6.- En una tormenta de 10 hrs. de duración, la máxima altura de ola registrada fué de 5 m. con un período de 12 seg.

- a).- Calcular H_2 , H_{10} , H_{100} y H_s .
 b).- Qué porcentaje de las olas tienen alturas mayores de 3m.

Solución:

a) Número de olas = $N = D/T = 10 \times 3600/12 = 3000$ olas

$$H_{max} = 5 = H_{rms} \sqrt{L(3000/2)} = H_{rms} \times 2.28 =$$

$$\therefore H_{rms} = 5/2.28 = 1.77 \text{ m.}$$

$$H_s = 1.41 \times 1.77 = 2.5 \text{ m.}$$

De la ecuación 2.28 $H_2 = 1.77 \sqrt{L(3000/2)} = 4.78 \text{ m.}$

$$H_{10} = 1.77 \sqrt{L(3000/10)} = 4.23 \text{ m.}$$

$$H_{100} = 1.77 \sqrt{L(3000/100)} = 3.26 \text{ m.}$$

b)

De la ec. 2.27, $P(H \geq 3) = e^{-(3/1.77)^2} = 0.056 = 5.6 \%$

7.- Se tiene un oleaje cuya altura en aguas profundas es H_0 (sección 0). Calcular la altura de ola H en la sección 1, despreciando las pérdidas de energía entre ambas secciones.

Solución:

$$E_0 C_{g0} = E C_g$$

$$\frac{E}{E_0} = \frac{C_{g0}}{C_g} = \frac{\frac{1}{8} b \gamma H_0^2}{\frac{1}{8} b \gamma H^2} = \frac{n_0 C_0}{n C}$$

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{n C}} \quad n_0 = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{C_0}{C}} = K_s \quad \boxed{H = H_0 K_s}$$



K_s se obtiene en las tablas del anexo C entrando con $\frac{d}{L_0}$

8.- Calcular H_0 y H_{max} en el punto O provocadas por un ciclón, cuando el centro de éste se localiza a $23^\circ N$ $90^\circ W$. Se considera una separación entre isobaras de un grado y un Δp de 3 mb.

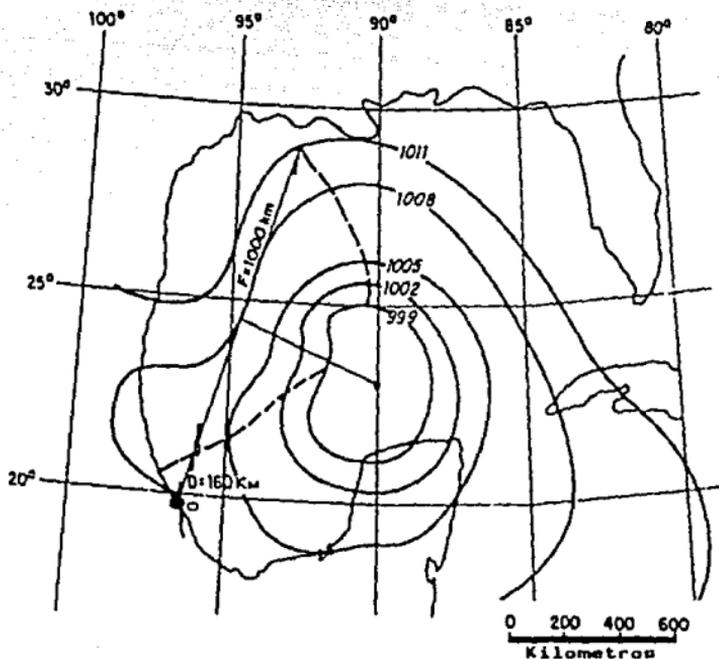
Solución:

a).- En la figura de la siguiente página se determina la zona de generación como se indica en el punto II.C.8.2; en ella también se indican los valores de D y F , siendo $F = 1000$ Km. y $D = 160$ Km.

$$\text{Pero } 1 \text{ m.n.} = 1.852 \text{ Km.} \quad \therefore 1 \text{ Km.} = \frac{1}{1.852} \text{ m.n.}$$

$$F = 1000/1.852 = 540 \text{ m.n.}$$

$$DD = 160/1.852 = 86 \text{ m.n}$$



b).- Cálculo de la velocidad del viento.

De la ec. 2.31, $V_0 = (9.39/\text{sen } 23) \times (3/1) = 72 \text{ nudos}$

De la ec. 2.32, $U = 0.6 \times 72 = 43 \text{ nudos}$

c).- Utilización de las gráficas de la fig. II.21, entrando primero con U y F y posteriormente con U y D, se obtiene:

1. Con U y F se lee

$$H_s = 31 \text{ ft.}$$

$$T_s = 12 \text{ seg.}$$

$$D_{min} = 36 \text{ hrs.}$$

2. Con U y D se lee

$$H_s = 14 \text{ ft.}$$

$$T_s = 8 \text{ seg.}$$

$$F_{min} = 57 \text{ m.n.}$$

El primer caso no puede presentarse ya que para generar un oleaje con esas características se requiere que el viento sople durante 36 hrs. como mínimo. En cambio el segundo caso sólo necesita una longitud de fetch de 57 m.n., menor a las 530 m.n. que se tienen: de ahí que las características del oleaje en f sean:

$$H_s = 14 \text{ ft.} \quad \text{y} \quad T_s = 8 \text{ seg.}$$

De las gráficas de la fig. II.23 se obtiene.

$$\frac{H_o}{H_s} = 0.37 \quad \rightarrow \quad H_o = 0.37 * 14 \quad \text{y} \quad \frac{T_o}{T_s} = 1.3 \quad \rightarrow \quad T_o = 8 * 1.3$$

$$\left. \begin{array}{l} H_o = 5.18 \text{ ft.} = 1.6 \text{ m.} \\ T_o = 10 \text{ seg.} \end{array} \right\} \text{Características del oleaje en O}$$

$$\text{Número de olas} = N = 6 * 3600/10 = 2160 \text{ olas.}$$

$$H_s = 1.41 H_{rms} \quad \rightarrow \quad H_{rms} = H_s/1.41 = 1.6/1.41 = 1.13 \text{ m.}$$

$$H_{max} = H_{rms} \sqrt{L N} = 1.13 \sqrt{L 2160} = 3.13 \text{ m.}$$

9.- Apartir de la ec.2.23 obtener una expresión para calcular el ángulo de incidencia sobre cualquier batimétrica γ , en función de los valores de la tangh $2\pi d/L$ y del ángulo conocidos.

Solución:

La ec. 2.33 se obtuvo de:

$$\frac{\text{Sen } \alpha_1}{\text{sen } \alpha_0} = \left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_1 \quad (a)$$

Se cumple también que:

$$\frac{\text{sen } \alpha_2}{\text{sen } \alpha_0} = \left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_2 \quad (b)$$

$$\frac{\text{sen } \alpha_3}{\text{sen } \alpha_0} = \left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_3 \quad (c)$$

	batimétricas	$\text{tanh } \frac{2\pi d}{L}$
0	_____	1.00
1	_____	
2	_____	
.		
n	_____	0.00

Dividiendo (a) entre (b) y realizando operaciones se tiene:

$$\text{sen } \alpha_2 = \frac{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_2}{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_1} \text{sen } \alpha_1 \quad (d)$$

Dividiendo ahora (c) entre (b)

$$\text{sen } \alpha_3 = \frac{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_3}{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_2} \text{sen } \alpha_2 \quad (e)$$

De las ecuaciones (d) y (e) se deduce que para la batimétrica i :

$$\text{sen } \alpha_i = \frac{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_i}{\left(\text{tanh } \frac{2\pi d}{L} \right)_{i-1}} \text{sen } \alpha_{i-1}$$

Donde $i = 1 \dots \dots n$
 α_0 es un dato

10.- Utilizando la ecuación obtenida en el ejercicio anterior, calcular los ángulos de incidencia para las siguientes batimétricas.

a)

1	2	3	4	5	6
1	batimétricas	d/L ₀	tangh $\frac{2\pi d}{L}$	sen α_1	α_1°
0	_____	0.5	1.000		60
1	_____	0.2	0.888	0.769	50.2
2	_____	0.1	0.709	0.614	37.9
3	_____	0.05	0.531	0.459	27.4
4	_____	0.02	0.347	0.3	17.5
5	_____	0.01	0.248	0.215	12.4

Ejemplo. Para la batimétrica 2

$$\text{sen } \alpha_2 = \frac{0.709}{0.888} \text{ sen } 50.2 = 0.614 \quad \alpha_2 = 37.9^\circ$$

b)

1		d/L ₀	tangh $\frac{2\pi d}{L}$	sen α_1°	α_1°	α_{1c}°
0	_____	0.5	1.0	0.5	30	
1		0.2	0.888	0.680	43	50
2		0.1	0.709	0.312	18	23
3		0.05	0.531	0.038	2	3
4		0.02	0.347	0.195	11	17

α_{1c} es el ángulo corregido debido a que las batimétricas no son paralelas

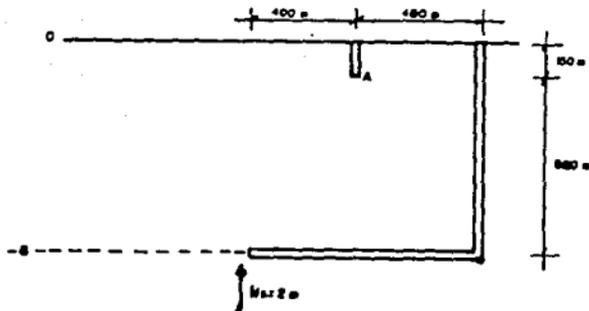
Ejemplo. Para la batimétrica 1 $\alpha_{1c} = 30 + 20 = 50^\circ$

$$\text{sen } \alpha_1 = \frac{0.888}{1} \text{ sen } 50 = 0.680 \quad \alpha_1 = 43^\circ$$

Para la batimétrica 2 $\alpha_{2c} = 43 - 20 = 23^\circ$

$$\text{sen } \alpha_2 = \frac{0.709}{0.888} \text{ sen } 23 = 0.312 \quad \alpha_2 = 18^\circ$$

11.- Calcular la altura de ola y la operatividad del muelle, situado en el punto A, si la altura de ola permisible es de 0.3 m. $H_s = 2$ m. y $T = 10$ seg.



Solución:

$$L_0 = 1.56 \times 100 = 156 \text{ m.}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{8}{156} = 0.051$$

$$\text{De las tablas del anexo C se obtiene } \tanh \frac{2\pi d}{L} = 0.5357$$

$$\therefore L = 0.5357 \times 156 = 83.56 \text{ m/seg.}$$

Utilizando las gráficas del del anexo B para $B/L = 8$

$$\frac{X}{L} = \frac{400}{83.56} = 4.7 \quad \frac{Y}{L} = \frac{600}{83.56} = 7.2$$

Con estos datos se lee en las gráficas $K_d = 0.16$

$$\therefore H_{sA} = 0.16 \times 2 = 0.32 \text{ m}$$

H_{sA} es la altura de ola significativa en el punto A

20.- Utilizando la fórmula 2,40

$$\alpha = \text{ang tang} = \frac{400}{600} = 34^\circ$$

$$\beta = 34 + 45 = 79^\circ \quad \therefore K_d = \cos \beta = \cos 79^\circ = 0.19$$

$$H_{sA} = 0.19 \times 2 = 0.38 \text{ m.}$$

Cálculo de la operatividad

$$H_{SA} = 1.41 \text{ Hrs} \rightarrow H_{ras} = \frac{H_{SA}}{1.41} = \frac{0.38}{1.41} = 0.27$$

$$P(H \geq 0.3) = e^{-(0.3/0.27)} = 0.29 = 29 \%$$

$$\text{Operatividad} = 100 - 29 = 71 \%$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1.- Cuál es la profundidad sobre la que se desplaza una ola, si su velocidad y longitud corresponden a la mitad de lo que tenía en aguas profundas?

$T_0 = 12$ seg.

2. En el ejercicio 3 realizar el cálculo para el valle, nodo y cresta restantes.

3.- Está amarrada una lancha a 20 m. del muelle, donde la profundidad es de 8 m. Busque el máximo desplazamiento horizontal y la máxima velocidad del movimiento de la lancha.

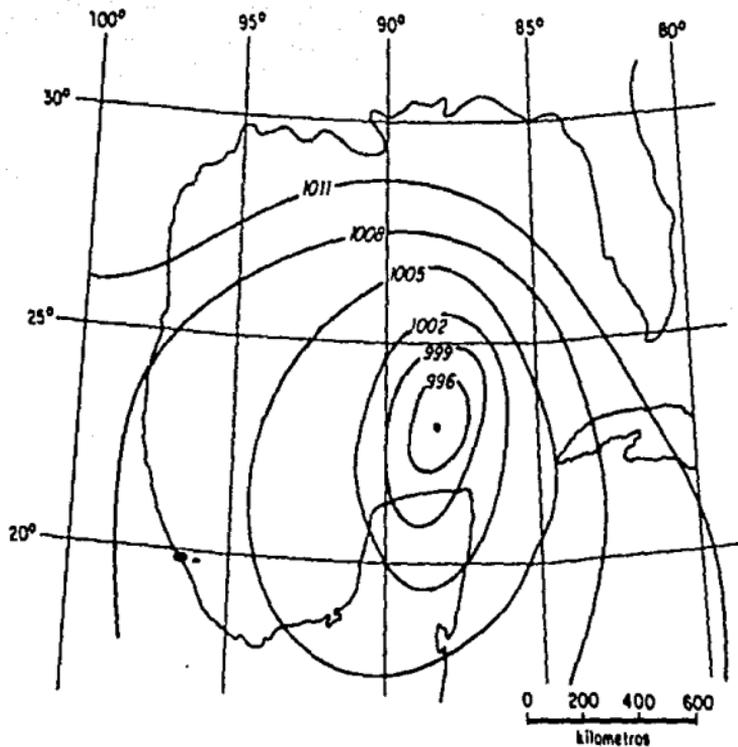
4.- Hay una ola de 2 m. de altura y período de 10 seg. en un lugar de 6 m. de profundidad. Calcular la energía propagada por 100 m. de ancho de ola y por un día.

5.- Un oleaje de 3 m. de altura y 12 seg. de período en aguas profundas, marcha sobre el fondo con una inclinación suave y perpendicular hacia la playa. Determine la altura que tiene este oleaje en los puntos de 30 m. y 8 m. de profundidad respectivamente

6.- Una ola de 10 seg. de período y 45° de ángulo en aguas profundas avanza en un sitio con las líneas batimétricas paralelas y rectas. Busque el el ángulo y coeficiente de refracción de esta ola en el lugar de 10 m. de profundidad.

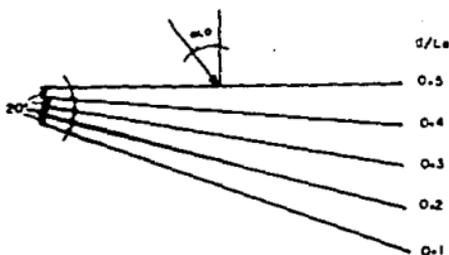
7.- En el ejercicio num. 5, calcular calcular \bar{H} , H_{res} y H_s para las direcciones restantes. En ambas direcciones; cuál es la altura de ola con probabilidad de excedencia del 1%?

8.- Obtener las características del oleaje en el punto O, provocadas por el huracán de la siguiente figura.



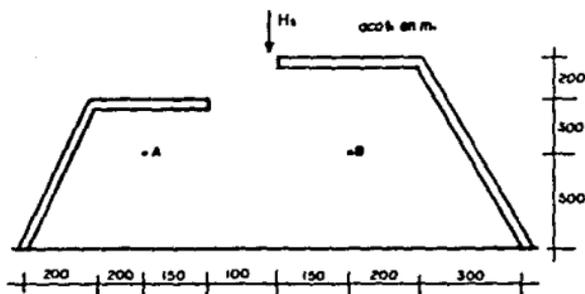
9.- Calcular α_1 sobre la batimétricas de la siguiente figura.

$$\alpha_0 = 60^\circ$$



10.- Calcular la agitación que se presenta en los puntos A y B de la siguiente figura.

$$H_s = 2 \text{ m.}$$



III.- REGIMEN DE COSTAS

III.A.- DEFINICIÓN.

El régimen de costas lo constituyen toda la serie de procesos costeros que son el resultado de la interacción entre el sedimento y las corrientes provocadas por el oleaje principalmente. Dependiendo de ellos, las playas pueden estar en equilibrio, bajo un proceso erosivo o uno de sedimentación, influyendo de esta forma en la destrucción de construcciones a la orilla del mar, azolvamiento en puertos y obras de toma para centrales termoeléctricas, etc.

III.B.- CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA COSTERA.

a) Costa. Se define como costa a la frontera entre el mar y la tierra.

b) Acantilado. La costa recibe este nombre cuando se encuentra formada por material consolidado (roca).

c) Playa. Parte de la costa formada por materiales sueltos (arenas, limos o arcillas). Se extiende desde el nivel de marea media baja, hasta algún accidente fisiográfico (acantilado, duna o vegetación), fig. III.1

Las playas pueden clasificarse de acuerdo al tamaño y origen del material que las componen.

1. - Por el tamaño del material.

Playa gruesa	$1 \text{ mm.} \leq \phi_{50} \leq 250 \text{ mm.}$	
Playa media	$0.05 \text{ mm.} \leq \phi_{50} \leq 1 \text{ mm.}$	Arena
Playa fina	$\phi_{50} \leq 0.05 \text{ mm.}$	Limos y arcillas

2.- Por su origen.

Terrígeno

Playas vecinas

Acantilado rocoso.

d) Litoral. Es la zona que comprende la playa y una región cubierta permanentemente por las aguas hasta una profundidad de aproximadamente 20 m. donde el transporte de sedimentos es menos significativo, fig.III.1.

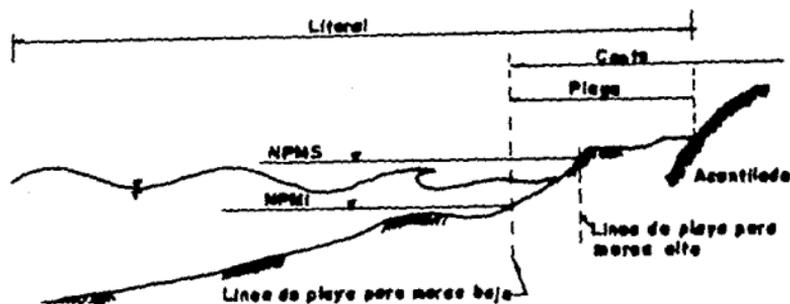


Fig. III.1

e) Formaciones playeras. Las formaciones playeras son formas particulares que adopta la costa debido al depósito de sedimentos, siendo algunas de ellas, las siguientes.

1.- Playas. Únicamente se agregará que generalmente son rectas o tienen curvatura cóncava hacia el mar; dependiendo ésto de la dirección, la refracción y de las corrientes que genera el oleaje.

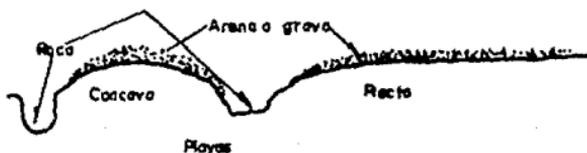


Fig. III.2

2.- **Flechas.**- Son depósitos que se forman en los puntos extremos de las playas o discontinuidades de la costa cuando existe un gran transporte litoral y las aguas son poco profundas. También se localizan en las entradas de las lagunas y desembocaduras de ríos.

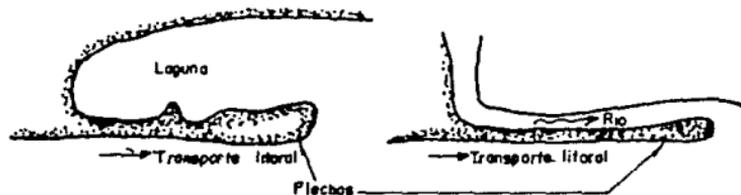


Fig. III.3

3.- **Barreras.** Son depósitos que se encuentran frente a las lagunas costeras, muy parecidas a las flechas pero que no están unidas a tierra firme.

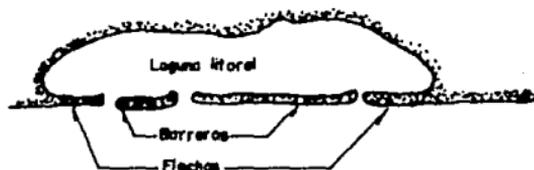


Fig. III.4

4.- **Tómbolos.** Es un istmo formado de material granular que se desarrolla desde la costa y se dirige a una isla u obstáculo frente a ella al cual generalmente se llega a unir.

5.- **Playas triangulares o cuspeate.** Depósito en forma triangular con el vértice dentro del mar. Se forma por la presencia de corrientes que tienen direcciones opuestas.

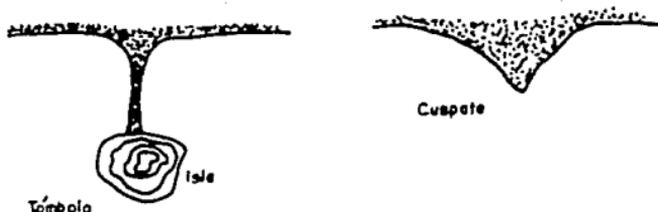


Fig. III.5.

6.- *Barras*. Se trata de depósitos sumergidos paralelos a la costa, localizados en la zona de rompientes, fig III.6. Entre estos depósitos y la costa ocurre un transporte intenso de sedimentos.

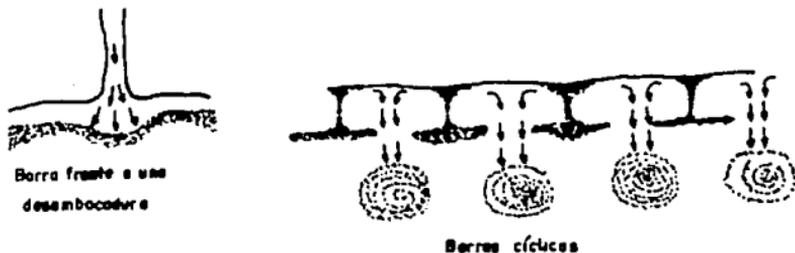


Fig. III.6

7.- *Bancos*. Son acumulaciones de arena alejadas de la costa y bajo la superficie del agua. Se deben a condiciones locales de oleaje que transportan material a esa zona pero que no lo pueden remover fácilmente de ahí.

III.C.- TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

III.C.1.- ACCION DEL OLAJE SOBRE LA PLAYA.

Cuando una ola rompe se producen cierto tipo de corrientes

(pto.II.E.2) las cuales tienden a levantar el material suelto (arena) y a trasladarlo perpendicular o paralelamente a la costa. Asi, el movimiento de las partículas puede darse en dos sentidos:

a).- Transporte perpendicular. Es el provocado por las corrientes en la misma dirección y como su nombre lo indica es el que se realiza desde o hacia la playa. Cuando es desde la playa se tiene una costa de inversión, mientras que cuando es hacia la playa se tiene una costa de emersión, fig. III.7a.

b).- Transporte paralelo. Es el que se realiza a todo lo largo de la costa, avanzando en línea recta o describiendo una línea quebrada en forma de diente de sierra, fig.III.7b.

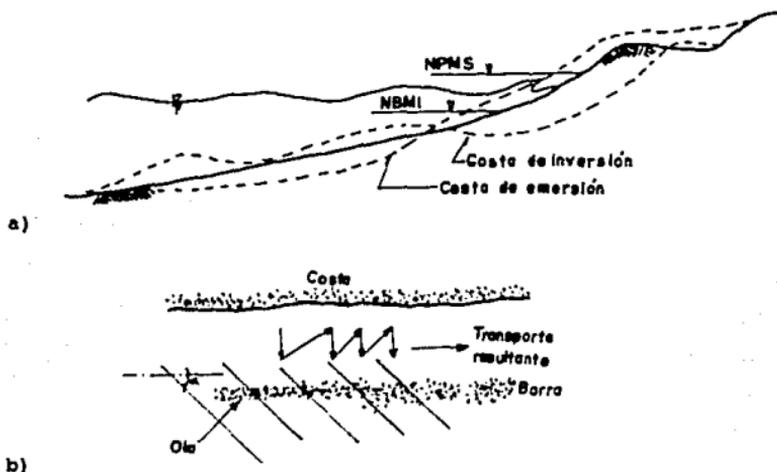


Fig. III.7

III.C.2.- ZONAS PRODUCTORAS Y ZONAS CONSUMIDORAS DE SEDIMENTOS.

El litoral puede considerarse como una red de transporte de partículas sólidas, existiendo zonas de producción llamadas fuentes y

zonas de consumo llamadas drenes o sumideros.

a).- Fuentes de sedimentos.

- 1.- Cauces fluviales (ríos)
- 2.- Acentilados
- 3.- Conchas marinas
- 4.- Vertedores artificiales

b).- Drenes o sumideros

- 1.- Cañones submarinos
- 2.- Ensenadas o estuarios naturales
- 3.- Obras de defensa
- 4.- Puertos
- 5.- Extracciones artificiales
- 6.- Pérdidas por abrasión

III.C.3.- CUANTIFICACION DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

Para determinar si una zona de la playa se encuentra en equilibrio o bajo un proceso erosivo o uno de sedimentación, es necesario efectuar una estimación de los volúmenes que entran, circulan y salen.

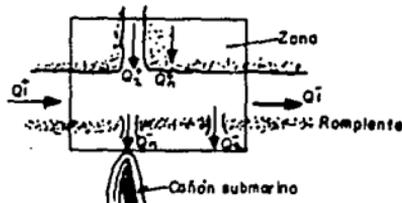


Fig. III.8

La zona estudiada estará en equilibrio si:

$$\sum \text{aportes} = \sum \text{pérdidas}$$

Es decir:

$$\sum_{i=1}^n Q_i^+ = \sum_{i=1}^n Q_i^- \quad \text{----- (3,1)}$$

Si por el contrario, las pérdidas son superiores o inferiores a los aportes, la zona se hallará en estado de erosión o azolvamiento respectivamente.

$$\text{Proceso erosivo } \sum_{i=1}^n Q_i^+ < \sum Q_i^- \text{ -----(3,2)}$$

$$\text{Proceso de azolvamiento } \sum_{i=1}^n Q_i^+ > \sum Q_i^- \text{ -----(3,3)}$$

Métodos para cuantificar el transporte de sedimentos.

La cuantificación del transporte litoral puede hacerse por tres diferentes métodos: medición directa, fórmulas empíricas y la combinación de ambos.

1.- *Medición directa (pruebas de campo)*

- Espigones de prueba
- Trazadores; fluorescentes y/o radioactivos
- Fosas de prueba

Espigones de prueba. Se construyen con el objeto de retener el transporte de sedimentos y así poderlo medir físicamente, fig.III.9.

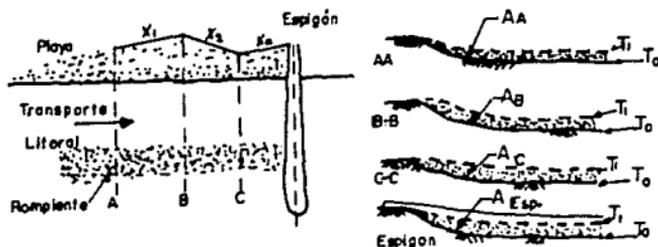


Fig. III.9

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = \frac{A_a + A_b}{2} X_1 + \frac{A_b + A_c}{2} X_2 + \frac{A_c + A_{esp.}}{2} X_3 \text{ -- (3,4)}$$

Su alto costo constituye su mayor inconveniente, justificándose sólo de acuerdo al tamaño e importancia de la obra o cuando pase a formar parte de un rompeolas definitivo.

-Trazadores fluorescentes y/o radioactivos.

Este método consiste en colorear arenas con pintura fluorescente o marcarlas con material radioactivo para colocarlas en el lugar de estudio y seguir su trayectoria. Cabe señalar que las arenas sembradas deben tener las mismas careacterísticas que las del sitio en estudio (peso específico, granulometría y densidad).

-Fosas de prueba.

Se utilizan cuando se desea conocer el transporte en la zona exterior de la playa, estableciendo de antemano sus dimensiones para poder cuantificar los depósitos.

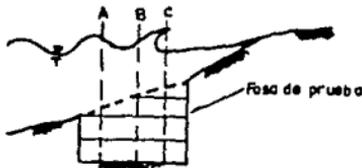


Fig. III.10

Tiene la desventaja de que el material acumulado puede ser de simple acomodo, proveniente de las paredes de la fosa.

2.- Fórmulas empíricas.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de estas fórmulas pueden diferir mucho de una a otra, ya que fueron desarrolladas por diferentes investigadores y bajo condiciones diferentes. En este caso sólo mencionaremos tres de ellas.

-Fórmula de Cadwell.

$$Q_s = 210 E_i^{0.8} \text{-----} (3,5)$$

$$E_i = \frac{\gamma H_o L}{8000000} (\text{num.de olas/día}) (\text{sen } \alpha \text{ cos } \alpha) K_r^2 \quad (3,5a)$$

$$\text{num.de olas} = \frac{86400}{T} \text{-----} (3,5b)$$

La fórmula de Cadwell no considera el tipo de material, pero está hecha para una arena media. En ella:

- Q_s : Transporte litoral [$\text{yd}^3/\text{día}$]
 E_i : Energía incidente [millones de $\text{lb}/\text{ft}/\text{día}$]
 γ : Peso específico del agua = $62.2 \text{ lb} / \text{ft}^3$
 H_o : Altura de la ola en aguas profundas [ft]
 L : Longitud de la ola en la zona de rompientes [ft]
 α : Angulo de incidencia del oleaje en grados
 K_r : Coeficiente de refracción.
 T : Período [seg.]

-Fórmula de CERC

$$Q_s = 125 E_s \text{-----} (3,6)$$

$$E_s = \frac{\gamma H_o L_o}{16'000,000} (\text{num.de olas/día}) \text{ sen } \alpha \text{ cos } \alpha K_r^2 \quad (3,6a)$$

Esta fórmula tiene las mismas unidades que la de Cadwell.

-Fórmula de Larras.

$$Q_e = K g H_o K_r^2 T \operatorname{sen} \left(\frac{7}{4} \alpha \right) \text{-----}(3,7)$$

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \phi^{-\frac{1}{2}} \frac{L_o}{H_o} \text{-----}(3,7a)$$

Donde:

Q_e : Transporte litoral [m³/seg.]

g : Gravedad [m /seg²]

H_o : Altura de ola en aguas profundas [m]

L_o : Longitud de olas en aguas [m]

ϕ : Diámetro del material [mm.]

α : Angulo de incidencia [°]

K_r : Coeficiente de refracción

T : Periodo [seg.]

Cuando se tiene un registro estadístico del oleaje como el siguiente.

TABLA III-1

H ₁	D I R E C C I O N E S				
	D ₁	D ₂	D ₃	. . . . .	D _n
H ₁	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	. . . . .	f _{1n}
H ₂	f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	. . . . .	f _{2n}
H ₃	f ₃₁	f ₃₂	f ₃₃	. . . . .	f _{3n}
.
.
.
H _m	f _{m1}	f _{m2}	f _{m3}	. . . . .	f _{mn}

Donde:

H_i : Altura de la ola [m.]

D_n : Direcciones en que incide el oleaje

f_{an} : Frecuencia de la ola cuya altura es H_n y que se presenta en la dirección D_n [s]

La cuantificación del transporte de sedimentos se realizará de la siguiente forma:

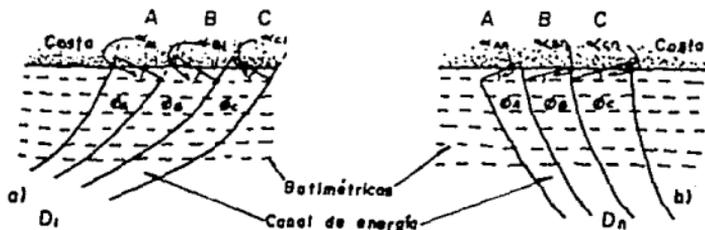


Fig. III.11

Para cada dirección y para cada zona de la costa (canal de energía) se tendrá un correspondiente K_r , α y ϕ . Dependiendo de la dirección, α puede considerarse positivo fig. III.11a o negativo fig. III.11b.

En el tabla III-2 se encuentran los valores antes mencionados. El registro es sólo para tres zonas (A, B y C) pero puede extenderse para un número mayor; En ella.

$K_{r_{An}}$: Coeficiente de refracción en la zona A y dirección D_n

α_{An} : Angulo de incidencia del oleaje en la zona A en la dirección D_n .

ϕ_A : Diámetro del material en la zona A. Puede considerarse constante para cualquier dirección.

T_{An} : Periodo del oleaje en la zona A y en la dirección D_n .

Los demás valores se definen en forma similar, de acuerdo a los subíndices.

TABLA III-2

Z O N A S	DIRECCIONES									
	D ₁				. . . . .		D _n			
	K _r	α	φ	T	. . . . .		K _r	α	φ	T
A	K _{r A1}	α _{A1}	φ _A	T _{A1}	. . . . .		K _{r An}	α _{An}	φ _A	T _{An}
B	K _{r B1}	α _{B1}	φ _B	T _{A1}	. . . . .		K _{r Bn}	α _{Bn}	φ _B	T _{Bn}
C	K _{r C1}	α _{C1}	φ _C	T _{C1}	. . . . .		K _{r Cn}	α _{Cn}	φ _C	T _{Cn}

Así, para calcular el transporte litoral en la zona A cuando el oleaje se presenta en la dirección D₁, con una altura H₁, se tendrá:

Aplicando la fórmula de Larras.

$$Q_{A11} = K_{A11} g H_1^2 K_{r A11}^2 T_{A1} \operatorname{sen} \left(\frac{7}{4} \alpha \right) \text{-----}(3,8)$$

$$K_{A11} = 1.8 \times 10^{-6} \phi_A \frac{1}{2} \frac{L_0}{H_0} \text{-----}(3,8a)$$

Dado que f_{an} está expresada en porcentaje, se transforma a segundos por año mediante:

$$t_{an} = f_{an} \frac{86,400 \times 365}{100} = 315,360 f_{an} \text{-----}(3,8b)$$

Para este caso:

$$t_{11} = 315,360 f_{11}$$

y el volumen anual será:

$$\text{Volumen anual} = V_{A11} = Q_{A11} t_{11} \quad \text{-----} (3,8)$$

V_{A11} en $m^3/\text{año}$.

Para cada zona se tendrá una tabla de volúmenes.

TABLA III-3

H1	DIRECCIONES				
	D1	D2	D3	.....	Dn
H1	$+V_{A11}$	$+V_{A11}$	$+V_{A13}$	.....	$-V_{A1n}$
H2	$+V_{A21}$	$+V_{A22}$	$+V_{A23}$	.....	$-V_{A2n}$
H3	$+V_{A31}$	$+V_{A32}$	$+V_{A33}$	.....	$-V_{A3n}$
.
.
.
Hm	$+V_{Am1}$	$+V_{Am2}$	$+V_{Am3}$	.....	$-V_{Amn}$
Σ	$+V_{A1}$	$+V_{A2}$	$+V_{A3}$	.....	$-V_{An}$

V_{An} : Volumen anual de sedimentos debido a la ola con altura H_m en la dirección D_n . Dependiendo de α , puede ser positivo o negativo.

V_{An} : Volumen anual total en la zona debido al oleaje con dirección D_n . Se considera positivo o negativo dependiendo de α ; siendo positivo cuando el movimiento de las partículas es hacia la derecha y negativo cuando es hacia la izquierda, figs.III.11a y III.11b.

$$V_A^+ = \Sigma +V_{A1} \quad \text{-----} (3,9)$$

V^+ : Transporte litoral positivo de la zona en estudio, que en este caso es en la zona A.

$$V_A^- = \sum -V_{A1} \quad \text{-----} (3,10)$$

V_A^- : Transporte litoral en sentido negativo en la zona.

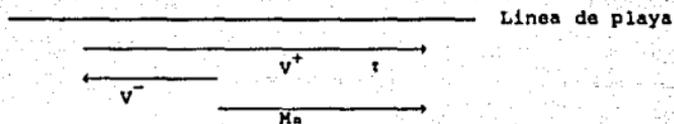


Fig.III.12

$$M_n = |V^+| - |V^-| \quad \text{-----} (3,11)$$

M_n : Transporte litoral neto [m³/año]

$$M_t = |V^+| + |V^-| \quad \text{-----} (3,12)$$

M_t : Transporte litoral total [m³/año]

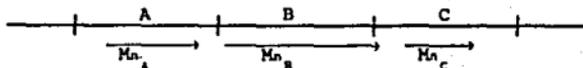


Fig. III.13

De lo anterior se puede concluir lo siguiente:

Si $M_{n_A} < M_{n_B}$ la zona A se estará azolvando

Si $M_{n_A} > M_{n_B}$ la zona A se estará erosionando

III.C.4.- EVOLUCION DE LA LINEA DE COSTA.

Quando se coloca una obra sobre la línea costera, de tal forma que se impida el paso de los sedimentos, éstos tenderán a acumularse en la parte de aguas arriba de la obra, generando un avance de la playa sobre el mar, hasta que llega un momento en que dicha obra es rebasada completamente, fig III.14.

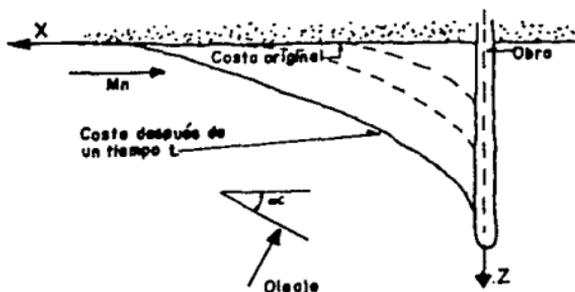


Fig.III.14. Evolución de la línea costera.

Para calcular el tiempo de rebase de la obra (vida útil), así como la evolución de la línea costera existen básicamente dos teorías: La de Pernald Considere de Francia y la de J.M.Bossen de Holanda. En el presente trabajo se tratará el método Holandés.

Método de Bossen.

Las hipótesis de partida son:

- La línea de costa original es rectilínea.
- El gradiente de la playa es constante.
- El transporte litoral es proporcional al cuadrado de la

altura de la ola, su longitud y la raiz cuadrada del tiempo (proceso lento).

-El diámetro del grano, la densidad relativa y el ángulo de incidencia tienen gran influencia.

-El acarreo litoral es proporcional a las longitudes de la costa y de la obra de protección.

En este método se tienen las siguientes ecuaciones para determinar la vida útil de la obra.

$$\mu = \frac{x}{\sqrt{t}} \sqrt{\frac{\alpha D}{4 Q}} \quad \text{-----} (3,13)$$

$$Q = M_n E(\mu) \quad \text{-----} (3,14)$$

$$Z = \sqrt{\frac{4 \alpha M_n}{H D}} \sqrt{t} G(\mu) \quad \text{cuando } X = 0 \quad \text{-----} (3,15)$$

$$Z = \alpha x F(\mu) \quad \text{cuando } X > 0 \quad \text{-----} (3,16)$$

Donde:

μ : Parámetro adimensional.

X, Z : Coordenadas de la nueva línea de playa para un tiempo t .

t : Tiempo considerado para el análisis.

α : Ángulo de incidencia en radianes.

D ; Profundidad sobre el eje Z .

M_n : Transporte litoral neto [$m^3/año$]

Q : Transporte litoral que pasa por una sección a una distancia x .

$E(\mu)$: Integral de probabilidad de Gauss.

$G(\mu)$, $F(\mu)$: Funciones de integración para el perfil de azolves.

Las funciones $E(\mu)$, $G(\mu)$ y $F(\mu)$ se encuentran tabuladas en la página siguiente.

TABLA III-4

μ	$E(\mu)$	$F(\mu)$	$G(\mu)$
0	0		1
0.01	0.011	55.4	0.988
0.02	0.022	27.2	0.965
0.03	0.034	17.8	0.947
0.04	0.045	13.1	0.931
0.05	0.056	10.3	0.914
0.06	0.067	8.44	0.898
0.07	0.079	7.50	0.881
0.08	0.090	6.57	0.865
0.09	0.099	5.63	0.849
0.10	0.112	4.70	0.833
0.15	0.167	2.85	0.758
0.20	0.223	1.935	0.686
0.30	0.326	1.047	0.556
0.40	0.428	0.630	0.447
0.50	0.520	0.515	0.355
0.60	0.604	0.260	0.277
0.70	0.678	0.171	0.213
0.80	0.742	0.114	0.162
0.90	0.795	0.073	0.123
1.00	0.843	0.050	0.088
1.10	0.879	0.032	0.064
1.20	0.910	0.022	0.048
1.30	0.935	0.015	0.035
1.40	0.952	0.009	0.020
1.50	0.966	0.006	0.016
1.60	0.976	0.0035	0.010
1.80	0.989	0.0012	0.004
2.00	0.995	0.0005	0.0017
2.20	0.9982	0.0002	0.0007
2.50	0.9996	0.00004	0.00014
	1.0000	0	0

EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Calcular el transporte litoral producido por un oleaje con las siguientes características.

$$H_0 = 2 \text{ m.}$$

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

$$K_r = 0.8$$

Profundidad en la zona de rompientes = 2 m.

a).- Aplicando el método de Cadwell.

$$H_0 = 2 \text{ m.} = 6.56 \text{ ft.}$$

$$\gamma = 63.2 \text{ lb/ft}^2$$

$$L_0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 100 = 156 \text{ m.} = 511.81 \text{ ft.}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{2}{156} = 0.0128 \rightarrow \tanh \frac{2\pi d}{L} = 0.282 \text{ (tablas del anexo C)}$$

$$L = 0.28 \times 511.8 = 144.33 \text{ ft.}$$

$$\text{Num. de olas/día} = \frac{86400}{10} = 8640 \text{ olas/día}$$

$$E_1 = \frac{52.2 \times 6.56 \times 144.33}{8000000} \times 8640 \times \sin 8^\circ \times \cos 8^\circ \times 0.8^2$$

$$E_1 = 36.8 \text{ millones de lb/ft/día}$$

$$Q_0 = 210 \times 36.8^{0.8} = 3757 \text{ yd}^3/\text{día}$$

$$Q_0 = 2867 \text{ m}^3/\text{día}$$

b).- Según el método de CERC

$$E_0 = \frac{62.2 \times 6.56^2 \times 511.81}{16000000} \times 8640 \times \sin 8 \times \cos 8 \times 0.8^2$$

$$E_0 = 65.2$$

$$Q_0 = 125 \times 65.2 = 8140 \text{ yd}^3/\text{día}$$

$$Q_0 = 6230 \text{ m}^3/\text{día}$$

c).- Según el método de Larras.

$$K = 1.8 \times 10^{-6} \times 0.4^{-1/2} \frac{156}{2} = 2.22 \times 10^{-4}$$

$$Q_0 = 2.22 \times 10^{-4} \times 9.81 \times 2^2 \times 0.8^2 \times 10 \times \sin \frac{7}{4} \text{ } 8$$

$$Q_0 = 0.013 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_0 = 1165 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cuadro comparativo.

FORMULA	CADWEL	CERC	LARRAS
$Q_0(\text{m}^3/\text{día})$	2867	6230	1165

2.- El siguiente programa aplica la fórmula de Larras para calcular el transporte litoral en varias zonas del litoral. Estas zonas pueden estar definidas por los canales de energía obtenidos mediante los diagramas de refracción.

```

10 KEY OFF:CLS
20 PRINT "                "; "CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL"
30 PRINT "                "; "APLICANDO LA FORMULA DE LARRAS"
40 PRINT:PRINT
50 PRINT "ESTE PROGRAMA CALCULA LOS VOLUMENES ANUALES (M3/AÑO) PARA"
60 PRINT "CADA DIRECCION Y PARA CADA ALTURA DE OLA(MATRIZ DE VOLU-"
70 PRINT "MENES), EL TRANSPORTE ANUAL POSITIVO, NEGATIVO, NETO Y "
80 PRINT "TOTAL (M3/AÑO) EN DIVERSAS ZONAS DEL LITORAL"
90 PRINT:PRINT
100 INPUT "DESEAS HACER ALGUN CALCULO (S/N)";R$
110 IF R$="N" THEN 1920
120 KEY OFF:CLS
130 INPUT "CUAL ES EL MAXIMO NUMERO DE OLAS";A
140 PRINT:PRINT
150 INPUT "CUAL ES EL MAXIMO NUMERO DE DIRECCIONES";B
160 PRINT
170 INPUT "DESEAS CORREGIR ALGUN DATO (S/N)";S$
180 IF S$="S" THEN 130

```

```
190 DIM H(A),F(A,B),Q(A,B),TT(A,B),V(A,B),VT(B)
200 DIM KR(B),A(B),T(B),LO(B)
210 INPUT "CUANTAS ZONAS SE ANALIZARAN?";X
220 DIM MT(1,X),TP(1,X),TN(1,X),MN(1,X),S(X,B)
230 KEY OFF:CLS
240 FOR Z=1 TO X
250     PRINT "LA ZONA POR ANALIZAR SERA LA ZONA";Z
260     PRINT
270     PRINT "SE CONSIDERA CONSTANTE EL"
280     PRINT " DIAMETRO DEL MATERIAL."
290     INPUT "PROPORCIONA EL DIAMETRO DEL MATERIAL(EN MM.)";O
300     PRINT
310     INPUT "PROPORCIONA EL NUMERO DE DIRECCIONES=";N
320     INPUT "PROPORCIONA EL NUMERO DE ALTURAS DE OLEAJE=";M
330     PRINT
340     PRINT
350     PRINT "PARA CADA DIRECCION PROPORCIONA LOS COEFICIENTES"
360     PRINT "DE REFRACCION KR(J), LOS ANGULOS DE INCIDENCIA A(J)"
370     PRINT "EN GRADOS Y LOS PERIODOS T(J) EN SEGUNDOS"
380     PRINT:PRINT
390     FOR J=1 TO N
400         PRINT "KR(";J;")=";:INPUT KR(J)
410         PRINT "A(";J;")=";:INPUT A(J)
420         A(J)=.0174*A(J)
430         PRINT "T(";J;")=";:INPUT T(J)
440         PRINT
450     NEXT J
460     INPUT "DESEAS CORREGIR ALGUN DATO (S/N)";S$
470     IF S$="S" THEN 390
480     PRINT
490     PRINT
500     PRINT "PROPORCIONA LAS ALTURAS DE OLEAJE"
510     FOR I=1 TO M
520         PRINT "H(";I;")=";:INPUT H(I)
530         PRINT
```

```
540 NEXT I
550 INPUT "DESEAS CORREGIR ALGUNA ALTURA DE OLA (S/N)";SS
560 IF SS="S" THEN 510
570 PRINT
580 PRINT "PROPORCIONA LAS FRECUENCIAS DE OLAJE"
590 PRINT
600 FOR I=1 TO M
610     FOR J=1 TO N
620         PRINT "F( ";I;J; ")=";:INPUT F(I,J)
630         PRINT
640     NEXT J
650 NEXT I
660 INPUT "DESEAS CORREGIR ALGUNA FRECUENCIA (S/N)";SS
670 IF SS="S" THEN 600
680 PRINT
690 FOR J=1 TO N
700     LO(J)=1.56*T(J) 2
710 NEXT J
720 FOR I=1 TO M
730     FOR J=1 TO N
740         K=.0000018*(O (-.5))*(LO(J)/H(I))
750         Q(I,J)=9.810001*K*(H(I) 2)*(KR(J) 2)*T(J)*SIN(7/4*A(J))
760         TT(I,J)=315360*F(I,J)
770         V(I,J)=Q(I,J)*TT(I,J)
780     NEXT J
790 NEXT I
800 S(Z,J)=0
810 FOR J=1 TO N
820     FOR I=1 TO M
830         S(Z,J)=S(Z,J)+V(I,J)
840     NEXT I
850 NEXT J
860 TP(1,Z)=0
870 TN(1,Z)=0
880 FOR J=1 TO N
```

```
890     VT(J)=0
900     FOR I=1 TO M
910         VT(J)=VT(J)+V(I,J)
920     NEXT I
930     IF VT(J)>0 THEN 960
940     TN(1,Z)=TN(1,Z)+VT(J)
950     GOTO 970
960     TP(1,Z)=TP(1,Z)+VT(J)
970 NEXT J
980 MT(1,Z)=TP(1,Z)+TN(1,Z)*(-1)
990 MN(1,Z)=TP(1,Z)+TN(1,Z)
1000 FOR I=1 TO 3:LPRINT:NEXT
1010     LPRINT "DATOS PARA LA ZONA:";Z
1020     LPRINT:LPRINT
1030     LPRINT
1040     LPRINT "NUMERO DE DIRECCIONES=";N
1050     LPRINT
1060     LPRINT "NUMERO DE ALTURAS DE OLA=";M
1070     LPRINT
1080     LPRINT "DIAMETRO DEL MATERIAL(en mm.)=";O
1090     LPRINT:LPRINT
1100     LPRINT TAB(36)"ANGULO";TAB(56)"PERIODO"
1110     LPRINT "DIRECCION","COEF. DE REF.",
1120     LPRINT TAB(36)"(rad.)";TAB(57)"(seg.)
1130     LPRINT
1140     FOR J=1 TO N
1150         LPRINT TAB(4)"D";J,"KR(";J;")=";KR(J),
1160         LPRINT TAB(33)"A(";J;")=";A(J);
1170         LPRINT TAB(55)"T(";J;")=";T(J)
1180         LPRINT
1190     NEXT J
1200     FOR I=1 TO 2:LPRINT:NEXT
1210         LPRINT "MATRIZ DE FRECUENCIAS:"
1220         LPRINT
1230         LPRINT "H(m.)/D",
```

```
1240     FOR J=1 TO N
1250         LPRINT J,
1260     NEXT J
1270     LPRINT " _____ "
1280     FOR I= 1 TO M
1290         LPRINT " ";H(I);" ",
1300         FOR J=1 TO N
1310             LPRINT F(I,J),
1320         NEXT J
1330         LPRINT
1340     NEXT I
1350     FOR I=1 TO 2:LPRINT:NEXT
1360     LPRINT "LOS RESULTADOS SON LOS SIGUIENTES:"
1370     LPRINT:LPRINT
1380     LPRINT "MATRIZ DE VOLUMENES"
1390     LPRINT
1400     LPRINT TAB(4)"H(m.)/D",:LPRINT TAB(20)"1",
1410     FOR J=2 TO N
1420         LPRINT J,
1430     NEXT J
1440     FOR I=1 TO 3:LPRINT:NEXT
1450     FOR I=1 TO M
1460         LPRINT TAB(8)H(I),
1470         FOR J=1 TO N
1480             LPRINT USING "      . . ";V(I,J),
1490         NEXT J
1500         LPRINT
1510     NEXT I
1520     LPRINT
1530     LPRINT TAB(4)"TOTALES",
1540     FOR J=1 TO N
1550         LPRINT USING "      . . ";S(2,J),
1560     NEXT J
1570     LPRINT:LPRINT
1580     LPRINT "VOLUMEN TOTAL PARA CADA DIRECCION:"
```

```
1590 LPRINT
1600 LPRINT "DIRECCION",
1610 LPRINT TAB(19)"VOLUMEN TOTAL (m3/a&o)
1620 LPRINT
1630 FOR J=1 TO N
1640     LPRINT TAB(5)J,:LPRINT TAB(21) USING "      ,. ";VT(J)
1650     LPRINT
1660     NEXT J
1670     LPRINT "*****"
1680 NEXT Z
1690 FOR I=1 TO 2:LPRINT:NEXT
1700 LPRINT "TRANSPORTE LITORAL EN LAS ZONAS"
1710 LPRINT "      "; "m3/A&O"
1720 FOR I=1 TO 2:LPRINT:NEXT
1730 LPRINT "ZONA", "MT", "TP", "TN", "MN"
1740 LPRINT " _____"
1750 LPRINT
1760 FOR Z=1 TO X
1770     LPRINT TAB(2)Z;
1780     LPRINT TAB(10) USING "////////,./";MT(1,Z);
1790     LPRINT TAB(24) USING "////////,./";TP(1,Z);
1800     LPRINT TAB(38) USING "////////,./";TN(1,Z);
1810     LPRINT TAB(52) USING "////////,./";MN(1,Z);
1820 NEXT Z
1830 FOR I=1 TO 3:LPRINT:NEXT
1840 LPRINT "MT: TRANSPORTE LITORAL TOTAL"
1850 LPRINT
1860 LPRINT "TP: TRANSPORTE LITORAL EN SENTIDO POSITIVO"
1870 LPRINT
1880 LPRINT "TN: TRANSPORTE LITORAL EN SENTIDO NEGATIVO"
1890 LPRINT
1900 LPRINT "MN: TRANSPORTE LITORAL NETO"
1910 GOTO 10
1920 END
```

Los datos, así como los resultados obtenidos para una corrida son los siguientes.

DATOS PARA LA ZONA: 1

NUMERO DE DIRECCIONES= 3

NUMERO DE ALTURAS DE OLA= 4

DIAMETRO DEL MATERIAL(en mm.)= .3

DIRECCION	COEF. DE REF.	ANGULO (rad.)	PERIODO (seg.)
D 1	KR(1)= .5	$\lambda(1)= .1218$	T(1)= 10
D 2	KR(2)= .6	$\lambda(2)= .1044$	T(2)= 10
D 3	KR(3)= .8	$\lambda(3)= -.0696$	T(3)= 9

MATRIZ DE FRECUENCIAS:

H(m.)/D	1	2	3
1.6	8	7	9
2	5	5	3
3.5	6	6	2
4	1	4	0

LOS RESULTADOS SON LOS SIGUIENTES:

MATRIZ DE VOLUMENES

H(m.)/D	1	2	3
1.6	10,736.3	11,618.6	-12,946.6
2	8,387.7	10,373.7	-5,394.4
3.5	17,614.2	21,784.8	-6,293.5
4	3,355.1	16,597.9	0.0
TOTALES	40,093.3	60,375.0	-24,634.5

VOLUMEN TOTAL PARA CADA DIRECCION:

DIRECCION	VOLUMEN TOTAL (m ³ /a&o)
1	40,093.3
2	60,375.0
3	-24,634.5

DATOS PARA LA ZONA: 2

NUMERO DE DIRECCIONES= 3

NUMERO DE ALTURAS DE OLA= 4

DIAMETRO DEL MATERIAL(en mm.)= .4

DIRECCION	COEF. DE REF.	ANGULO (rad.)	PERIODO (seg.)
D 1	KR(1)= .6	A(1)= .1044	T(1)= 8
D 2	KR(2)= .5	A(2)= .1218	T(2)= 9
D 3	KR(3)= .9	A(3)= -.087	T(3)= 10

MATRIZ DE FRECUENCIAS:

H(m.)/D	1	2	3
1.6	30	10	14
2	20	8	2
3.5	8	2	1
4	2	0	0

LOS RESULTADOS SON LOS SIGUIENTES:

MATRIZ DE VOLUMENES

H(m.)/D	1	2	3
1.6	22,078.8	8,472.7	-37,796.7
2	18,399.0	8,472.7	-6,749.4
3.5	12,879.3	3,706.8	-5,905.7
4	3,679.8	0.0	0.0
TOTALES	57,037.0	20,652.2	-50,451.9

VOLUMEN TOTAL PARA CADA DIRECCION:

DIRECCION	VOLUMEN TOTAL (m ³ /a±o)
1	57,037.0
2	20,652.2
3	-50,451.9

DATOS PARA LA ZONA: 3

NUMERO DE DIRECCIONES= 3

NUMERO DE ALTURAS DE OLA= 4

DIAMETRO DEL MATERIAL(en mm.)= .5

DIRECCION	COEF. DE REP.	ANGULO (rad.)	PERIODO (seg.)
D 1	KR(1)= .8	A(1)= .1392	T(1)= 10
D 2	KR(2)= .6	A(2)=-.0696	T(2)= 10
D 3	KR(3)= .7	A(3)=-.0522	T(3)= 10

MATRIZ DE FRECUENCIAS:

H(m.)/D	1	2	3
1	10	8	7
2	4	6	3
3	1	2	1
4	1	1	0

LOS RESULTADOS SON LOS SIGUIENTES:

MATRIZ DE VOLUMENES

H(m.)/D	1	2	3
1	18,964.5	-4,298.9	-3,844.0
2	15,171.6	-6,448.3	-3,294.9
3	5,689.3	-3,224.1	-1,647.4
4	7,585.8	-2,149.4	0.0
TOTALES	47,411.2	-16,120.7	-8,786.3

VOLUMEN TOTAL PARA CADA DIRECCION:

DIRECCION	VOLUMEN TOTAL (m3/a6o)
1	47,411.2
2	-16,120.7
3	-8,786.3

TRANSPORTE LITORAL EN LAS ZONAS
m³/AÑO

ZONA	MT	TP	TN	MN
1	125,102.8	100,468.3	-24,634.5	75,833.9
2	128,141.1	77,689.2	-50,451.9	27,237.4
3	72,318.3	47,411.2	-24,907.1	22,504.2

MT: TRANSPORTE LITORAL TOTAL

TP: TRANSPORTE LITORAL EN SENTIDO POSITIVO

TN: TRANSPORTE LITORAL EN SENTIDO NEGATIVO

MN: TRANSPORTE LITORAL NETO

3.- Calcular el tiempo de llenado de un espigón que tiene una longitud de 200 m. La pendiente de la playa es de 0.02, un transporte litoral neto de 100,000 m³/año y un oleaje que llega con un ángulo de incidencia de 15°.

Solución.

Despejando t de la ecuación 3,15

$$t = \frac{Z^2 \pi D}{4 \alpha Mn G(\mu)^2}$$

$$Z = 200 \text{ m.}$$

$$D = 0.02 \times 200 = 4 \text{ m.}$$

$$\alpha = 15^\circ = 0.26 \text{ rad.}$$

X = 0, por lo tanto, de la ec. 3,13 $\mu = 0$ y $G(\mu) = 1$

$$t = \frac{200^2 \times \pi \times 4}{4 \times 0.26 \times 100,000} = 4.8 \text{ años}$$

4.- ¿Cuál debe ser la longitud del espigón del ejercicio anterior para que su vida útil sea de 10 años?

Solución.

De la ecuación 3.15

$$Z = \sqrt{\frac{4 \times 0.26 \times 100,000}{\pi \times 0.02 \times 2}} \sqrt{10} = \frac{4086}{\sqrt{2}}$$

$$Z = 255 \text{ m.}$$

5.- ¿Qué forma tiene la línea de playa al terminar la vida útil del espigón analizado en el ejercicio anterior?

Solución.

$$\text{De la ecuación III.13, } X = \mu \sqrt{\frac{4 \tau Mn}{\alpha D}}$$

$$X = \mu \sqrt{\frac{4 \times 10 \times 100,000}{0.26 \times 4}} = 1961 \mu$$

$$Z = \alpha X F(\mu) = 0.26 X F(\mu)$$

$$Q = Mn E(\mu)$$

Aplicando estas tres últimas fórmulas se obtienen los resultados de la siguiente tabla.

	μ	X	F(μ)	Z	E(μ)	Q
A	0.0	0		255	0	0
	0.10	196.1	4.70	240	0.112	11,200
	0.15	294.0	2.85	218	0.167	16,700
	0.20	392.4	1.935	197	0.223	22,300
	0.50	980.5	0.515	131	0.520	52,000
B	1.0	1961	0.050	26	0.843	84,300
	1.50	2941	0.006	5	0.966	96,600
	2.50	3862	0	0	1.000	100,000

Para la sección A, el gasto que pasa Q es caro, lo cual indica que todo el material se ha acumulado antes del espigón.

Para la sección B situada a 1961 m. del espigón, el gasto que esta pasando es de 84,300 m³/año, mientras que el resto se ha acumulado anteriormente.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1.- Aplicando la tres fórmulas vistas anteriormente, calcular el transporte litoral neto producido por el oleaje con las siguientes características.

Dirección	D ₁	D ₂	D ₃	
Ho (m.)	2	1.5	1.8	T = 10 seg.
α (°)	9	7	8	
Kr	0.6	0.8	0.7	

El diámetro medio del material es de 0.3 mm. y la línea de rompiente se encuentra a una profundidad de 2 m.

2.- Modificar el programa de tal manera que se puedan aplicar las tres fórmulas, obteniéndose un cuadro comparativo como el siguiente.

ZONA:

	CERC	CADWELL	LARRAS
MT			
TP			
TN			
MN			

3.- Calcular la vida útil de un espigón cuya longitud es de 250 m. La pendiente de la playa es de 0.01, un transporte litoral neto de 150,000 m³/año y el oleaje incide con un ángulo de 20°.

5.- Si se quiere que la vida útil del espigón del ejercicio anterior sea de 10 años. ¿Cuál debe ser su longitud?.

6.- Dibujar la línea de playa al término de la vida útil del espigón del primer ejercicio.

IV.- REGIMEN DE ESTUARIOS

IV.A.- ESTUARIO

Estuario es un cuerpo de agua costera semi-cerrado que tiene libre conexión con el mar abierto y dentro del cual el agua marina puede encontrarse diluida con los escurrimientos provenientes de tierra firme.

La desembocadura de un río, una laguna litoral comunicada con el mar o una combinación de ambas constituyen ejemplos típicos de estuarios, figs.IV.1 a, b y c respectivamente.

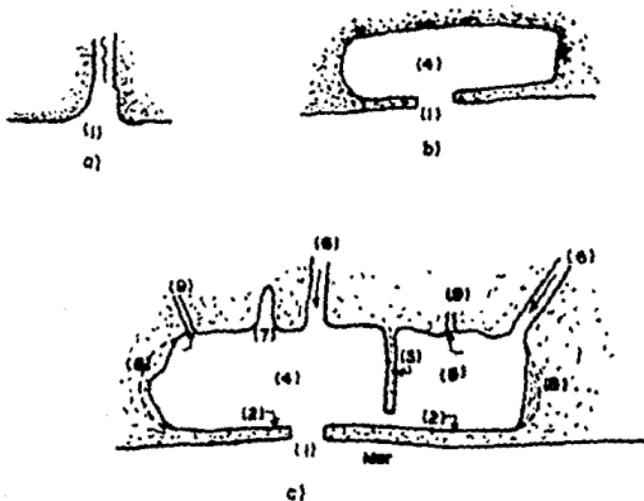


Fig. IV.1

IV. A. 1. - COMPONENTES DE UN ESTUARIO.

En las figuras anteriores se pueden distinguir las partes que conforman un estuario; siendo ellas.

- 1 : Acceso o boca principal
- 2 : Cordón litoral principal
- 3 : Cordón litoral secundario
- 4 : Vaso principal
- 5 : Vaso secundario
- 6 : Escurrimientos
- 7 : Esteros
- 8 : Marismas
- 9 : Extracciones

IV. A. 2. TIPOS DE ESTUARIO.**a) Estuario puro.**

Una desembocadura es la forma más simple que adopta un estuario (fig.IV.1a), en este caso la parte más baja del río se amplía considerablemente en comparación con el resto del cauce. La salinidad tiende a ser más inestable (presenta cambios periódicos) y la zona lagunaria queda incluida en la ampliación misma del río.

b) Estuario combinado.

Son cuerpos de agua ubicados en la zona litoral del continente que presenta una comunicación con el mar, fig.IV.1b y a las cuales pueden llegar corrientes superficiales de agua continental, fig.IV.1c, que propician la mezcla de ambas para dar como resultados concentraciones variables según la zona. Dependiendo de las características de la marea, la presencia salina tendrá mayor o menor influencia, pero en general los procesos de mezclado son más débiles y la salinidad tiende a ser menor y más estable.

IV.B.- CARACTERÍSTICAS DEL FUNCIONAMIENTO ESTUARINO

En condiciones naturales, la acción de los diferentes agentes que intervienen en el funcionamiento de un estuario, se manifiesta actuando unos en el sentido de absorberlos y hacerlos desaparecer y otros en el sentido de profundizarlos o mantenerlos.

Por ejemplo, las tempestades o ciclones tienden a adelgazar o acortar el cordón litoral, mientras que el transporte de sedimentos tenderá a robustecerlo y a cerrar el acceso o boca; las fuertes avenidas provocadas por las lluvias tratarán de ampliar la sección del canal de acceso, al mismo tiempo que aportarán sedimentos que tratarán de reducirlo; de ahí que la atención se centre en esta parte del sistema, identificando los factores que puedan provocarle una ampliación, un cierre parcial o un cierre definitivo.

IV.C.- FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO ESTUARINO.

El tipo de comunicación con el mar se establecerá dependiendo de muchos factores. Los más importantes son:

- a) Corrientes en el canal de acceso (por marea o escurrimiento)
- b) Corrientes y oleaje en la zona costera.
- c) Transporte litoral.
- d) El sedimento transportado por el río

Las variaciones de cada uno de estos factores conducen a un gran número de posibles combinaciones, cada cual produce un tipo único de comunicación.

Primero: Variaciones en el aporte de sedimentos por el río.

La fig. IV.2a muestra el caso de un enorme aporte de sedimentos, mientras que el efecto de los restantes factores es muy insignificante.



Fig. IV.2

En la fig. IV.2b se tiene el caso de un aporte considerable y una acción un poco mas significativa de los factores restantes.

La fig. IV.2c presenta el caso en que un aporte bajo de sedimentos se balancea con buenas fuerzas de distribución provocadas por el oleaje.

Segundo. Variaciones de las corrientes por marea.

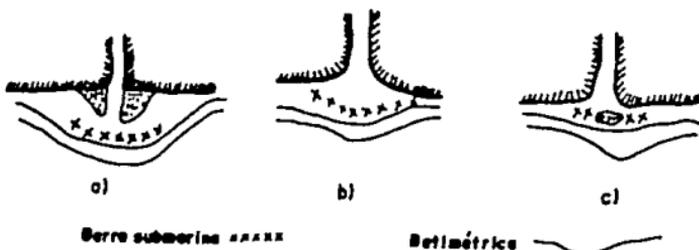


Fig. IV.3

En la fig. IV.3a se tiene un reflujo de marea muy fuerte con un aporte de sedimentos y unas fuerzas de distribución muy bajas.

La fig. IV.3b presenta el caso de una corriente menos fuerte y un bajo aporte de sedimentos balanceado con unas adecuadas fuerzas de distribución en la zona costera.

Por último, en la fig. IV.3c se observa el caso en que la acción de las fuerzas de distribución relativamente importantes, dispersan el sedimento antes de que éste se interne en el mar.

Tercero. Variaciones de las fuerzas de distribución.



Fig. IV.4

La fig. IV.4 muestra los casos en que las fuerzas de distribución son muy fuertes, regulares y moderadas, en relación con la magnitud de otros factores.

Cuarto. Variaciones en el transporte litoral.



Fig. IV.5

Finalmente, cuando el transporte es considerable, regular y pequeño, se presentan los casos que se muestran en la fig IV.5.

Comunmente la configuración de las comunicaciones no es estable,

pero sigue ciertos factores de cambio, presentándose movimientos cíclicos de largo período en una sucesión de erosión y depósito.

IV.D.- ESTABILIDAD DEL CANAL DE ACCESO.

El grado de estabilidad de un canal de acceso constituye el factor más importante para un adecuado aprovechamiento de un sistema estuarino; puede determinarse aplicando alguno de los siguientes métodos.

- Simulación del funcionamiento hidráulico.
- Método de Keulegan.

IV.D.1.- SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO.

a).- La aplicación de este método permite conocer.

- 1.- El máximo nivel que alcanza la laguna o lagunas del sistema.
- 2.- El gasto máximo que pasa por el canal de acceso.
- 3.- La velocidad máxima en el canal.
- 4.- El prisma de marea (PM), es decir, el volumen total que entra o que sale del sistema.
- 5.- Las relaciones entre el prisma de marea (PM) y el transporte litoral neto (Mn) para determinar el grado de estabilidad del canal.

b).- Las consideraciones tomadas en cuenta son las siguientes.

- 1.- La sección del canal permanece constante en toda su longitud y durante todo el tiempo considerado para la simulación.
- 2.- Las paredes de la laguna son verticales y por lo tanto, para cualquier nivel el área inundada es la misma.
- 3.- El efecto más importante es el relacionado con las corrientes por marea.

4.- El flujo en el canal está regido por la formula de Manning.

c) Elementos en el funcionamiento de un sistema estuarino.

La simulación del funcionamiento de un sistema estuarino o lagunario se basa fundamentalmente en la ecuación de continuidad para un intervalo Δt , que se expresa.

$$E - S = PM \quad \text{-----} \quad (4,1)$$

$$\frac{PM}{A} = \Delta NL \quad \text{-----} \quad (4,2)$$

Donde.

E : Volumen de agua que entra a la laguna durante el intervalo de tiempo (Δt) considerado.

S : Volumen que sale en el mismo intervalo.

PM : Variación del volumen almacenado o prisma de marea.

A : Area de la laguna.

ΔNL : Variación del nivel debido a PM en el intervalo Δt .

Generalmente se utilizan intervalos de tiempo (Δt) de una o media hora, pero si se requiere una mayor aproximación pueden utilizarse intervalos menores.

Cada uno de los términos del primer miembro de la ec. 4,1 incluye varios factores.

1.- Las entradas provenientes de:

- La descarga de corrientes superficiales (ríos) en la laguna. Estas aportaciones se cuantifican a partir de los hidrogramas correspondientes, fig. IV.7a.

- El volumen que ingresa cuando se presenta el flujo de marea.

- Descargas que el hombre realiza directamente en las lagunas.

- La precipitación directa sobre la laguna.

2.- Las salidas están formadas por:

-Extracciones que se realizan para satisfacer la demanda de plantas generadoras de energía eléctrica o de algún otro aprovechamiento. Los volúmenes extraídos por este concepto se contabilizan a partir de la ley de demandas correspondiente, fig.IV.7b

- El volumen que sale cuando se presenta el refluo de marea.
- Las evaporaciones.
- Las infiltraciones.

Dividiendo la ec. 4,1 entre Δt y considerando todos los factores anteriores se tiene.

$$Q_r + Q_M + Q_{OH} + Q_{LI} - Q_A - Q_E - Q_I = Q_T$$

Si:

$$\Sigma A = Q_r + Q_{OH} + Q_{LI}$$

$$\Sigma E = Q_A + Q_E + Q_I$$

entonces se tendrá.

$$Q_T = Q_M + (\Sigma A - \Sigma E) \quad \text{-----} \quad (4,3)$$

Donde:

Q_T : Gasto total en la laguna durante el intervalo de tiempo considerado Δt (m^3/s).

Q_M : Gasto que se tiene por concepto de marea (m^3/s).

Q_r : Gasto descargado por el río durante el intervalo de tiempo considerado (m^3/s).

Q_{OH} : Descargas que realiza el hombre durante el mismo intervalo.

Q_{LL} : Gasto por lluvia en la laguna.

Q_A : Gasto aprovechado.

Q_E : Gasto evaporado.

Q_I : Gasto infiltrado.

EA : Suma de aportaciones.

EE : Suma de extracciones.

d) Desarrollo de la simulación.

10. Para un determinado tiempo t_i se calcula la pendiente hidráulica S_i .

$$S_i = \frac{N_{i+1} - N_{i-1}}{L} \quad (4,4)$$

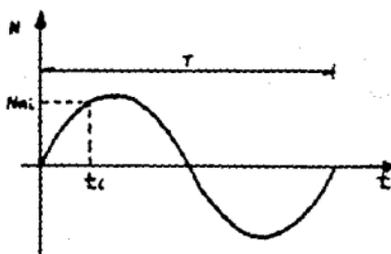


Fig. IV.6. Mareograma para obtener los niveles del mar desde $t_i=0$ hasta $t_i = T$.

Donde:

S_i : Pendiente hidráulica en el tiempo t_i . Resulta positiva

cuando se presenta el flujo ($N_M > N_L$ y el agua entra a la laguna) y negativa cuando se tiene el refluo ($N_M < N_L$ y el agua sale de la laguna).

N_M : Nivel de la marea en el tiempo t_1 . Se obtiene de la fig. IV.6.

N_L : Nivel de la laguna en el mismo instante.

L : Longitud del canal de acceso.

Al inicio de la simulación los niveles de la laguna y mar se consideran iguales a cero. Por lo tanto, para $t_0 = 0$, $S_0 = 0$ y por las ec. 4,5 y 4,6 se tiene que el gasto por marea en ese instante $Q_{M0} = 0$

2o. Cálculo de la velocidad en el canal.

$$V_i = \pm \frac{1}{n} r^{2/3} |S_i|^{1/2} \quad \text{-----} \quad (4,5)$$

Donde:

V_i : Velocidad en el canal en el instante t_1 . Se considera positiva en el flujo y negativa en el refluo. (m/s)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

r : Radio hidráulico de la sección del canal (m).

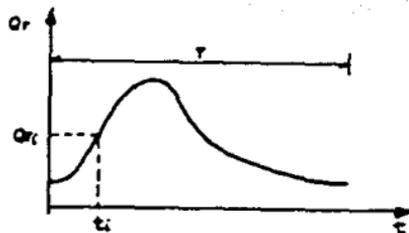
3o. Se obtiene el gasto por marea.

$$Q_{M1} = V_i a \quad \text{-----} \quad (4,6)$$

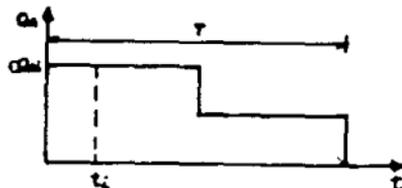
Q_{M1} : Gasto por marea (m^3/s).

a : Area de la sección del canal (m^2).

40. Se calculan las demás aportaciones y extracciones.



a) Hidrograma. En t_i el gasto que entra a la laguna es Q_{r_i} .



b) Ley de demandas del aprovechamiento. En t_i el gasto extraído es Q_{a_i} .

Fig. IV.7

50. Aplicando la ec 4,3 para t_i se calcula el gasto total.

$$Q_{r_i} = \sum Q_{a_i} + \sum A_i - \sum E_i \quad \text{-----} \quad (4,7)$$

Q_{r_i} : Gasto total (m^3/s).

60. PMI se obtiene de la siguiente forma.

$$PMI = \sum Q_{r_i} \Delta t \quad \text{-----} \quad (4,8)$$

Donde:

PMI : Variación del volumen en Δt . (m^3)

Δt : Intervalo de tiempo considerado, (seg).

$$\Delta NLi = \frac{PMi}{A} \quad \text{-----} \quad (4,9)$$

ΔNLi Variación del nivel en la laguna (m). Es positiva cuando se tiene un incremento y negativa cuando se trata de un decremento.

7o. Se obtiene el nuevo nivel en la laguna.

$$NL_{i+1} = NLi \pm \Delta NLi \quad \text{-----} \quad (4,10)$$

8o. Del mareograma correspondiente (fig. IV.6) se obtiene el nuevo nivel del mar (NM_{i+1}).

10o. La ec. 4,4 del primer paso se transforma en.

$$S_{i+1} = \frac{NM_{i+1} - NL_{i+1}}{L} \quad \text{-----} \quad (4,11)$$

11o. Se repiten los pasos del 1 al 9 hasta completar todo un ciclo de marea (T), vaciando los datos en la tabla IV-1.

Este proceso se realiza cuantas veces sea necesario, hasta lograr que el nivel de la laguna sea el mismo al principio y al final del ciclo (T).

TABLA IV-1

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t	NH _t	NL _t	S _t	V _t	Q _x	ΣA	ΣE	Q _T	PM	ΔNL
t ₁	NH ₁	NL ₁	S ₁	V ₁	Q _{T1}	ΣA ₁	ΣE ₁	Q _{T1}	PM ₁	ΔNL ₁
T	NHT	NLT	ST	VT	Q _T	ΣAT	ΣET	Q _T	PMT	ΔNLT

12o. Para observar el comportamiento de los niveles del mar y de la laguna se grafican los valores de las columnas 1 y 2.

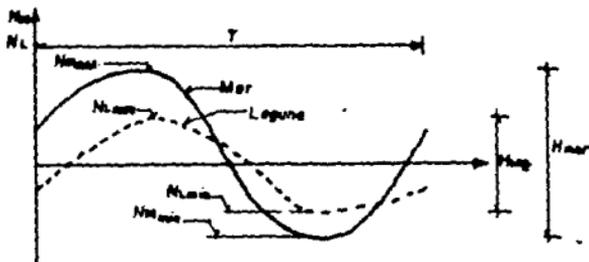


Fig.IV.8 Comportamiento de los niveles en el mar y laguna.

De esta gráfica se obtiene:

- La amplitud de la marea (H_{mar}).
- La amplitud de la laguna (H_{lag}).
- Los niveles máximo y mínimo que alcanza el mar (NH_{max} y NH_{min}).

$N_{M_{\min}}$ respectivamente).

- Los niveles máximo y mínimo que alcanza la laguna ($N_{L_{\max}}$ y $N_{L_{\min}}$ respectivamente)
- El amortiguamiento que sufre la onda de marea (%).

$$\text{Amortiguamiento} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \times 100 \quad \text{----- (4,12)}$$

En la tabla IV-1 se identifican los siguientes valores.

- Velocidad máxima en el flujo.
- Velocidad máxima en el reflujo.
- Gasto máximo en el flujo.
- Gasto máximo en el reflujo.

El prisma total de marea PMT está definido por:

$$\text{PMT}_{\text{flujo}} = \sum +PM_i \quad \text{----- (4,13)}$$

$$\text{PMT}_{\text{reflujo}} = \sum -PM_i \quad \text{----- (4,14)}$$

Cálculo del gasto y la velocidad medios.

$$Q_m = \frac{\text{PMT}}{t} \quad \text{----- (4,15)}$$

$$V_m = \frac{Q_m}{a} \quad \text{----- (4,16)}$$

PMT : Es el promedio de los valores obtenidos en las ecs. 4,13 y 4,14.

IV. D. 2 METODO DE KEULEGAN.

En la aplicación de este método se hacen las siguientes consideraciones.

- 1.- Las paredes de la laguna son verticales.
- 2.- En el canal de comunicación, la profundidad es mucho mayor que la amplitud de las mareas.
- 3.- No existen aportaciones provenientes de ríos o arroyos,
- 4.- Se desprecian las extracciones.
- 5.- No se presentan corrientes de densidad.
- 6.- Las fluctuaciones en el nivel de agua por efectos de marea están representadas por una curva senoidal.
- 7.- El agua en el canal tiene forma prismática.
- 8.- El flujo en el canal se rige por la fórmula de Manning.

Desarrollo del método de Keulegan.

10. Se calcula el coeficiente de llenado.

$$K = \frac{T a}{H A} \sqrt{\frac{g r}{2 H (\lambda L + r)}} \quad (4,17)$$

$$\lambda = \frac{2 n^2 g}{r^{1/3}} \quad (4,18)$$

Donde:

- K : Coeficiente de llenado.
 T : Período de marea (seg.).
 a : Area de la sección transversal del canal (m²).
 r : Radio hidráulico (m.)
 H : Altura de la marea (entre pleamar máxima y mínima) (m).

- A : Area de la laguna (m^2).
 L : Longitud del canal de acceso (m).
 n : Coeficiente de rugosidad de Manning.
 λ : Coeficiente de fricción.
 g : Gravedad (m/seg^2)

2o Con el valor de K , se entra a la gráfica del la fig.IV.9 y se obtienen C_1 y τ .

3o. Se calcula la velocidad media.

$$V_m = \frac{H C_1 A}{a} \frac{H}{T} \text{ sen } \tau \quad \text{-----} \quad (4,19)$$

V_m Velocidad media (m/seg).

4o. Se obtiene el gasto máximo para mareas vivas.

$$Q_m = V_m a \quad \text{-----} \quad (4,20)$$

Q_m : Gasto máximo ($m^3/seg.$)

5o. El prisma de marea se calcula con la fórmula de Keulegan.

$$PMT = H \text{ sen } \tau A \quad \text{-----} \quad (4,21)$$

PMT : Prisma total de marea ($m^3/ciclo$)

$\text{sen } \tau$: Valor obtenido en el 2o paso.

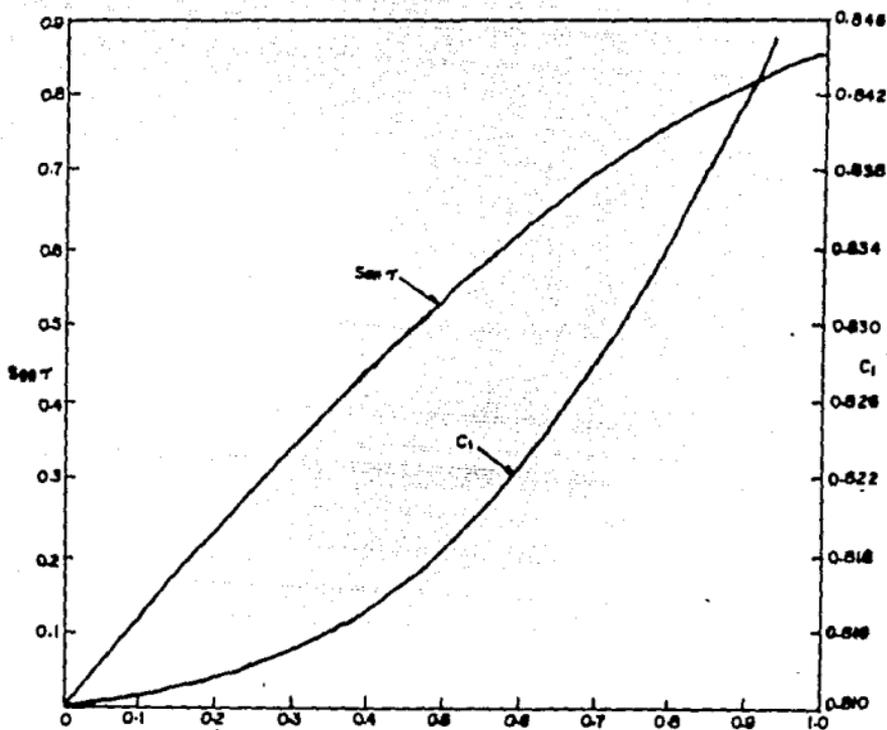


Fig. IV.9 Obtención de los valores de $\text{sen } \tau$ y C_1 .

IV.D.3 PARAMETROS DE ESTABILIDAD

1.- En base al coeficiente r se estima la forma de paso del material por el el canal de acceso.

$$r = \frac{Mn}{Qn} \text{-----} (4,22)$$

Mn : Transporte litoral neto ($m^3/año$)

Si $r > 200-300$, el paso del materia es por barra.

° $r < 10 -20$, el paso del material es por corriente de marea.

$$2.- \xi = \frac{PMT}{Mn} \text{-----} (4,23).$$

Si $\xi < 100$, la capacidad de autodragado es muy baja, existirá una tendencia la bifurcación del canal, disminuyendo la eficiencia hidráulica de la sección.

Si $\xi > 150 - 200$, el grado de estabilidad es aceptable, siendo óptimo cuando el valor es superior a 200.

3.- Relación de esfuerzos cortantes.

$$\frac{T_C}{T_B} \text{-----} (4,24)$$

Un canal se considera estable si.

$$0.8 \leq \frac{T_C}{T_B} \leq 1.2 \text{-----} (4,25)$$

T_C : Esfuerzo cortante producido por la corriente (Kg/m^2)

T : Esfuerzo cortante de estabilidad (Kg/m^2)

T_B Se puede obtener de la siguiente tabla.

TABLA IV.2

ξ	T_B (Kg/m^2)
600	0.46
150 - 600	0.50
< 150	0.51

$$T_C = \gamma \left(\frac{V_m}{C} \right)^2 \quad \text{-----} \quad (4,26)$$

$$C = 30 + 50 \text{ Log } a \quad \text{-----} \quad (4,27)$$

γ : Peso específico del agua (Kg/m^3)

C : Coeficiente de Chezy.

4.- Relación entre el área de la sección transversal del canal y el área de la sección estable.

$$a_s = \frac{Q_m}{C \sqrt{\frac{T_B}{\gamma}}} \quad \text{-----} \quad (4,28)$$

a_s : Área de la sección estable

T_B : Esfuerzo cortante de estabilidad, obtenido de la tabla IV-2.

C : Coeficiente de Chezy, calculado con la ec. 4,27.

Q_m : Es el gasto máximo obtenido con la fórmula 4,20 o el valor máximo entre el flujo y el reflujo.

Un canal es estable si:

$$0.8 \leq \frac{B}{a_s} \leq 1.20 \quad \text{-----} \quad (4,29)$$

$$\text{ó} \quad \frac{B}{a_s} > 1.5$$

5.-Relación entre la capacidad de transporte del canal y el transporte total.

$$Q_s = \frac{10 B g^{1/2}}{D_{50} (S_s - 1)^2} \left(\frac{T_c}{\gamma} \right)^{5/2} \quad \text{-----} \quad (4,30)$$

$$M_s = Q_s \times \text{seg/año} \quad \text{-----} \quad (4,31)$$

Q_s : Capacidad de transporte del canal ($m^3/\text{seg.}$).

M_s : Capacidad de transporte anual del canal de acceso.

D_{50} : Diámetro del material (m).

S_s : Densidad de sólidos.

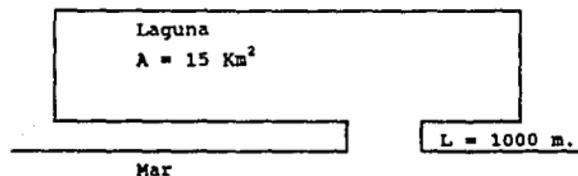
$$p = \frac{M_s}{M_T} \quad \text{-----} \quad (4,32)$$

Si $0.7 < p < 1.6$, el canal se considera estable

M_T Transporte total de sedimentos ($m^3/\text{año}$).

EJERCICIO RESUELTO

1.- Analizar el funcionamiento hidráulico de la laguna y verificar la estabilidad de la sección del canal de acceso.

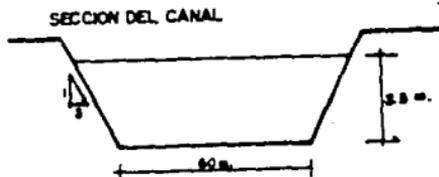


$$n = 0.025$$

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

$$M_n = 150,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$M_t = 200,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

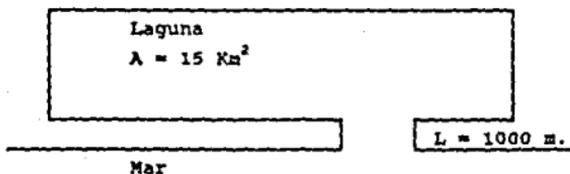


En la tabla siguiente se tienen los niveles del mar, el gasto extraído por la planta y el gasto aportado por el río. En ella se considera un incremento de tiempo de una hora.

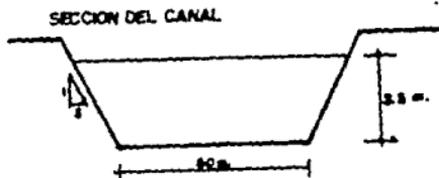
t_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NM	0	0.2	0.34	0.4	0.34	0.2	0	-0.2	-0.34	-0.4	-0.34	0.2	0
Qr	0	100	200	300	267	233	210	167	133	100	67	33	0
QP	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	50

EJERCICIO RESUELTO

1.- Analizar el funcionamiento hidráulico de la laguna y verificar la estabilidad de la sección del canal de acceso.



$n = 0.025$
 $T = 12 \text{ hrs.}$
 $M_n = 150,000 \text{ m}^3/\text{año}$
 $M_t = 200,000 \text{ m}^3/\text{año}$



En la tabla siguiente se tienen los niveles del mar, el gasto extraído por la planta y el gasto aportado por el río. En ella se considera un incremento de tiempo de una hora.

t_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NM	0	0.2	0.34	0.4	0.34	0.2	0	-0.2	-0.34	-0.4	-0.34	0.2	0
Q_r	0	100	200	300	267	233	210	167	133	100	67	33	0
Q_P	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	50

t_i : Tiempo (Hrs.)

Q_r : Gasto aportado por el río (m^3/s)

Q_p : Gasto extraído por la planta (m^3/s)

Solución:

$$a = (60 + 3 \times 3.5) \times 3.5 = 246.75 \text{ m}^2$$

$$P = 60 + 2 \times 3.5(9 + 1)^{1/2} = 82.13 \text{ m.}$$

$$r^{2/3} = (246.75/82.13)^{2/3} = 2.08$$

$$\text{De la ec. 4,5 } V = \frac{1}{0.025} \times 2.08 \text{ s}^{1/2} = 83.2 \text{ s}^{1/2}$$

$$\text{De la ec. 4,6 } Q_m = 246.75 \times 83.2 \text{ s}^{1/2} = 20530^{1/2}$$

Siguiendo los pasos descritos en el inciso b del punto IV.D.1, se elaboran las tablas de las páginas siguientes. Donde se consideran dos casos.

10.- Que no existen aportaciones ni extracciones
($Q_p = Q_r = 0$)

20.- En este caso si se consideran aportaciones (río) y extracciones (planta). El análisis de estabilidad solo se hará para este caso.

En las dos tablas se detiene el proceso cuando el nivel de la laguna es el mismo al principio y al final del ciclo (valores encerrados en un cuadro).

Primer caso.

T	NH	NL	V	QM	Qr	QP	QT	PM	IL
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
1	0.20	0.000	1.18	290.6	0	0	291	1046206	0.070
2	0.34	0.070	1.37	337.8	0	0	338	1216151	0.081
3	0.40	0.151	1.31	324.4	0	0	324	1167765	0.078
4	0.34	0.229	0.88	216.8	0	0	217	780547	0.052
5	0.20	0.281	-0.75	-184.6	0	0	-185	-664614	-0.044
6	0.00	0.236	-1.28	-316.0	0	0	-316	-1137442	-0.076
7	-0.20	0.161	-1.58	-390.2	0	0	-390	-1404752	-0.094
8	-0.34	0.067	-1.68	-414.5	0	0	-415	-1492309	-0.099
9	-0.40	-0.033	-1.60	-393.9	0	0	-394	-1418057	-0.095
10	-0.34	-0.127	-1.22	-299.8	0	0	-300	-1079419	-0.072
11	-0.20	-0.199	-0.08	-19.9	0	0	-20	-71666	-0.005
12	0.00	-0.204	1.19	293.4	0	0	293	1056200	0.070

1	0.20	-0.133	1.52	375.2	0	0	375	1350834	0.090
2	0.34	-0.043	1.63	402.4	0	0	402	1448477	0.097
3	0.40	0.053	1.55	382.7	0	0	383	1377669	0.092
4	0.34	0.145	1.16	286.9	0	0	287	1032941	0.069
5	0.20	0.214	-0.31	-76.6	0	0	-77	-275831	-0.018
6	0.00	0.196	-1.16	-287.3	0	0	-287	-1034405	-0.069
7	-0.20	0.127	-1.50	-371.3	0	0	-371	-1336839	-0.089
8	-0.34	0.037	-1.62	-399.2	0	0	-399	-1437212	-0.096
9	-0.40	-0.058	-1.54	-379.8	0	0	-380	-1367324	-0.091
10	-0.34	-0.150	-1.15	-283.6	0	0	-284	-1020953	-0.068
11	-0.20	-0.218	0.35	86.2	0	0	86	310373	0.021
12	0.00	-0.197	1.17	288.4	0	0	288	1038094	0.069

1	0.20	-0.128	1.51	372.0	0	0	372	1339193	0.089
2	0.34	-0.038	1.62	399.8	0	0	400	1439103	0.096
3	0.40	0.058	1.54	380.3	0	0	380	1369060	0.091
4	0.34	0.149	1.15	284.2	0	0	284	1022967	0.068
5	0.20	0.217	-0.34	-84.7	0	0	-85	-304876	-0.020
6	0.00	0.197	-1.17	-288.2	0	0	-288	-1037431	-0.069
7	-0.20	0.127	-1.51	-371.9	0	0	-372	-1338770	-0.089
8	-0.34	0.038	-1.62	-399.7	0	0	-400	-1438763	-0.096
9	-0.40	-0.058	-1.54	-380.2	0	0	-380	-1368748	-0.091
10	-0.34	-0.149	-1.15	-284.1	0	0	-284	-1022605	-0.068
11	-0.20	-0.217	0.34	85.0	0	0	85	305873	0.020
12	0.00	-0.197	1.17	288.2	0	0	288	1037549	0.069

Segundo caso.

T	NH	NL	V	QH	Qr	QP	QT	PH	IL
0	0	0	0	0	0	-50	-50	-180000	-0.012
1	0.20	-0.012	1.21	299.2	100	-50	349	1257135	0.084
2	0.34	0.072	1.36	336.5	200	-50	487	1751502	0.117
3	0.40	0.189	1.21	298.8	300	-50	549	1975671	0.132
4	0.34	0.320	0.37	91.2	263	-50	304	1095255	0.073
5	0.20	0.393	-1.16	-285.7	233	-50	-103	-369744	-0.025
6	0.00	0.369	-1.60	-394.6	210	-100	-285	-1024405	-0.068
7	-0.20	0.300	-1.86	-459.7	167	-100	-393	-1413594	-0.094
8	-0.34	0.206	-1.95	-480.2	133	-100	-447	-1610008	-0.107
9	-0.40	0.099	-1.86	-458.9	100	-100	-459	-1652191	-0.110
10	-0.34	-0.011	-1.51	-372.5	67	-100	-406	-1459907	-0.097
11	-0.20	-0.109	-0.80	-196.4	33	-100	-263	-948122	-0.063
12	0.00	-0.172	1.09	269.4	0	-50	219	789912	0.053

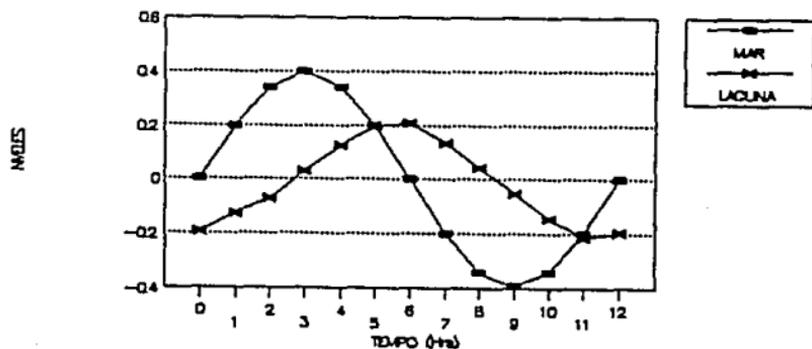
1	0.20	-0.119	1.49	367.2	100	-50	417	1501771	0.100
2	0.34	-0.019	1.58	389.4	200	-50	539	1941906	0.129
3	0.40	0.110	1.42	349.7	300	-50	600	2159049	0.144
4	0.34	0.254	0.77	190.3	263	-50	403	1451717	0.097
5	0.20	0.351	-1.02	-252.6	233	-50	-70	-250446	-0.017
6	0.00	0.334	-1.52	-375.8	210	-100	-266	-956738	-0.064
7	-0.20	0.271	-1.81	-445.8	167	-100	-379	-1363600	-0.091
8	-0.34	0.180	-1.90	-468.5	133	-100	-435	-1567633	-0.105
9	-0.40	0.075	-1.82	-447.9	100	-100	-448	-1612599	-0.108
10	-0.34	-0.032	-1.46	-360.4	67	-100	-393	-1416395	-0.094
11	-0.20	-0.127	-0.71	-175.9	33	-100	-243	-874288	-0.058
12	0.00	-0.185	1.13	279.5	0	-50	230	826345	0.055

1	0.20	-0.130	1.51	373.3	100	-50	423	1523795	0.102
2	0.34	-0.028	1.60	394.4	200	-50	544	1959864	0.131
3	0.40	0.102	1.44	354.6	300	-50	605	2176449	0.145
4	0.34	0.247	0.80	197.8	263	-50	411	1478758	0.099
5	0.20	0.346	-1.01	-248.3	233	-50	-65	-234969	-0.016
6	0.00	0.330	-1.51	-373.5	210	-100	-263	-948486	-0.063
7	-0.20	0.267	-1.80	-444.1	167	-100	-377	-1357591	-0.091
8	-0.34	0.177	-1.89	-467.0	133	-100	-434	-1562569	-0.104
9	-0.40	0.072	-1.81	-446.6	100	-100	-447	-1607876	-0.107
10	-0.34	-0.035	-1.45	-359.0	67	-100	-392	-1411188	-0.094
11	-0.20	-0.129	-0.70	-173.3	33	-100	-240	-865070	-0.058
12	0.00	-0.187	1.14	280.7	0	-50	231	830422	0.055

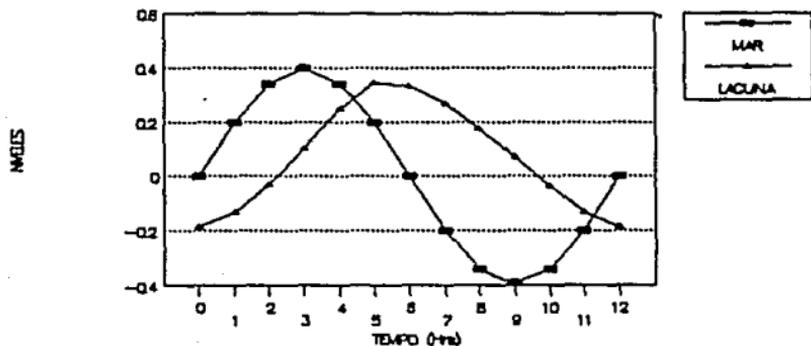
1	0.20	-0.131	1.52	374.0	100	-50	424	1526300	0.102
2	0.34	-0.029	1.60	395.0	200	-50	545	1961913	0.131
3	0.40	0.101	1.44	355.1	300	-50	605	2178436	0.145
4	0.34	0.247	0.80	198.6	263	-50	412	1481806	0.099
5	0.20	0.345	-1.00	-247.8	233	-50	-65	-233156	-0.016
6	0.00	0.330	-1.51	-373.2	210	-100	-263	-947527	-0.063
7	-0.20	0.267	-1.80	-443.9	167	-100	-377	-1356895	-0.090
8	-0.34	0.176	-1.89	-466.9	133	-100	-434	-1561982	-0.104
9	-0.40	0.072	-1.81	-446.5	100	-100	-446	-1607328	-0.107
10	-0.34	-0.035	-1.45	-358.8	67	-100	-392	-1410585	-0.094
11	-0.20	-0.129	-0.70	-173.0	33	-100	-240	-863997	-0.058
12	0.00	-0.187	1.14	280.8	0	-50	231	830890	0.055

Para ambos casos, el comportamiento de los niveles en el mar y la laguna se muestran en las siguientes gráficas.

FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO SIN APORTACIONES NI EXTRACCIONES



FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO CON APORTACIONES Y EXTRACCIONES



10.- Obtención de los valores característicos.

-Máximo y mínimo nivel en el mar.

$$NM_{max.} = 0.4 \text{ m.}$$

$$NM_{min.} = -0.4 \text{ m.}$$

-Niveles máximo y mínimo en la laguna.

$$NL_{max.} = 0.345 \text{ m.}$$

$$NL_{min.} = -0.187 \text{ m.}$$

-Amplitud de la marea.

$$H_{mar.} = 0.4 + 0.4 = 0.8 \text{ m.}$$

-Amplitud de la onda en la laguna.

$$H_{lag.} = 0.345 + 0.187 = 0.5 \text{ m.}$$

Amortiguamiento de la onda de marea.

$$\text{-De la ec.4,12 Amortiguamiento} = \frac{0.8 - 0.5}{0.8} \times 100 = 38 \%$$

-Velocidad máxima en el flujo y reflujo.

$$V_{Fmax.} = 1.60 \text{ m/seg.}$$

$$V_{Rmax.} = 1.89 \text{ m/seg.}$$

-Gasto máximo en el flujo y reflujo.

$$Q_{Fmax.} = 395 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_{Rmax.} = 466.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

-Prisma total de marea (PMT).

$$\text{De la ec.4,13 } PMT_{flujo} = \sum +PM_i = 7'978,877 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

$$\text{De la ec. 4,14 } PMT_{reflujo} = \sum -PM_i = 7'986,470 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

$$\text{En promedio, } PMT = 7'982,673 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Gasto y velocidades medias.

$$\text{De la ec.4,15 } Q_m = \frac{7'982,673}{6 \times 3600} = 370 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{De la ec. 4,16 } V_m = \frac{370}{246.75} = 1.4 \text{ m /seg.}$$

Aplicando la fórmula de Keulegan.

Datos adicionales.

$$D_{50} = 0.5 \text{ mm.} = 0.0005 \text{ m.}$$

$$S_s = 2.60$$

Solución.

1o. - Cálculo del coeficiente de llenado.

$$\text{De la ec. 4,18 } \lambda = \frac{2 \times 0.025^2 \times 9.81}{3^{1/2}} = 0.008$$

$$\text{De la ec. 4,17 } K = \frac{12 \times 3600 \times 246.75}{\pi \times 15 \times 10^4} \sqrt{\frac{9.81 \times 3}{2 \times 0.4 (0.0008 \times 1000 + 3)}}$$

$$K = 0.3$$

$$\text{En la fig. IV.9 } C_1 = 0.81$$

$$\text{sen } \tau = 0.35$$

2o. Cálculo de la velocidad media.

$$\text{De la ec. 4,19 } V_a = \pi \times 0.81 \times \frac{15 \times 10^4}{246.75} \times \frac{0.8}{6 \times 3600} \times 0.35$$

$$V_a = 2.0 \text{ m/seg}$$

3o. - Cálculo del gasto medio máximo.

$$\text{De la ec. 4.20 } Q_m = 2.0 \times 246.75 = 493.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

40.- El prisma de marea.

$$\text{De la ec. 4,21 } PM_t = 0.8 \times 0.35 \times 15 \times 10^6 = 4' 800,000 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Parámetros de estabilidad.

1.- Forma de paso del material.

$$\text{De la ec. 4,22 } r = \frac{150,000}{466.9} = 321 \quad \therefore r > 300$$

2.- Capacidad de autodragado.

$$\text{De la ec. 4,23 } \xi = \frac{7'982,673}{150,000} = 53 < 100$$

3.- Relación de esfuerzos cortantes.

De acuerdo con el valor de ξ , $T_s = 0.51 \text{ Kg/m}^2$ (tabla IV-2)

$$\text{De la ec. 4,27 } C = 30 + 5 \log.246.75 = 57.5$$

$$\text{De la ec. 4,26 } T_c = 1030 \left(\frac{1.4}{57.5} \right)^2 = 0.61 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{De la ec. 4,24 } \frac{0.61}{0.51} = 1.2$$

4.- Relación entre áreas.

$$\text{De la ec. 4,28 } a_s = \frac{466.9}{57.5 (0.51/1030)^{1/2}} = 367 \text{ m}^2$$

$$\text{De la ec. 4,29 } \frac{a}{a_s} = \frac{247}{367} = 0.71 < 0.8$$

5.- Relación entre las capacidades de transporte.

$$\text{De la ec. 4,30 } Q_s = \frac{10 \times 81 \times 9.81^{1/2}}{0.0005 \times 1.60^2} \left(\frac{0.61}{1030} \right)^{6/2} = 0.017$$

$$\text{De la ec. 4,31 } M_s = 0.017 \times 3600 \times 24 \times 365 = 533,516 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{De la ec. 4,32 } p = \frac{533,516}{250,000} = 2.1$$

PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
$r = \frac{M_n}{Q_n}$	321	Paso del material por barra.
$\xi = \frac{PMT}{M_n}$	53	Se produce azolvamiento en la entrada del canal, el volumen de agua que entra o que sale no es capaz de contrarrestar el transporte litoral.
$\frac{T_c}{T_s}$	1.2	De acuerdo a este criterio el canal se considera estable.
$\frac{a}{a_s}$	0.7	Existe inestabilidad. El área del canal es menor que el área estable.
$p = \frac{M_s}{M_c}$	2.1	El canal resulta estable

CONCLUSION

De acuerdo con algunos parámetros, el canal resulta estable, aunque hay que señalar que éstos se encuentran en el límite del rango entre la tendencia al azolvamiento y la estabilidad.

Por lo tanto es posible que se tengan problemas por la acumulación de azolves. Para evitar esto se puede hacer lo siguiente.

-Disminuir el área de la sección para aumentar el esfuerzo cortante crítico.

-Colocar escolleras para reducir el transporte litoral.

EJERCICIO PROPUESTO

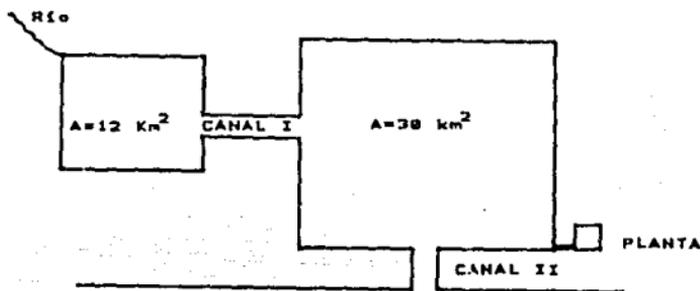
Analizar el siguiente sistema lagunario y determinar el grado de estabilidad en los dos canales; aplicando los métodos de la simulación del funcionamiento hidráulico y la fórmula de Keulegan.

$$M_n = 200,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

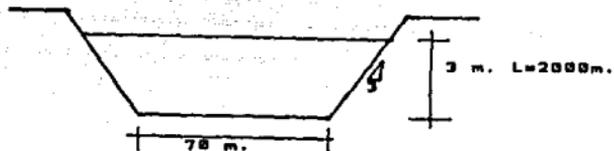
$$S_s = 2.5$$

$$M_r = 250,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$D_{50} = 0.5 \text{ mm.}$$

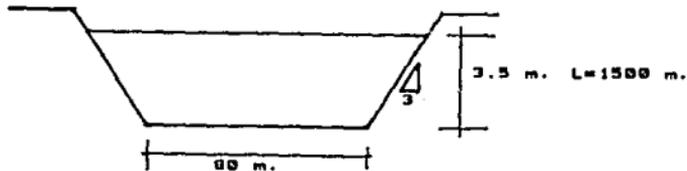


CANAL I



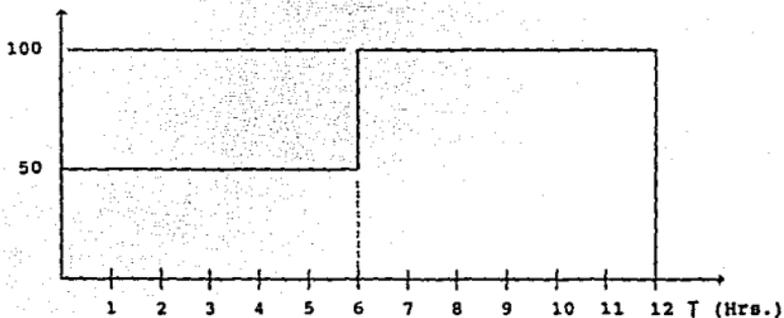
$$n=0.025$$

CANAL II

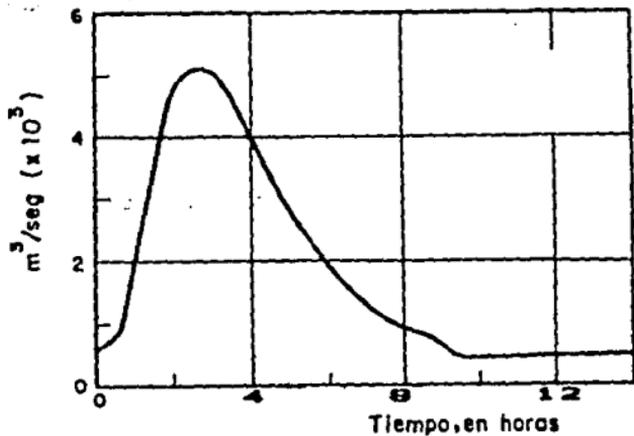


Ley de demandas en la planta.

Q_p ($m^3/seg.$)



Gasto aportado por el río.



El comportamiento de la marea es de acuerdo con la función.

$$\text{Nivel mar} = 0.5 \sin \frac{\pi}{6} t$$

donde $0 \leq t \leq 12$

V. - OBRAS DE ABRIGO Y PROTECCION

V.A. OBRAS DE ABRIGO.

Este tipo de obras reciben el nombre de "rompeolas" y tienen la función de crear una zona protegida contra la acción del oleaje, fig.V.1.

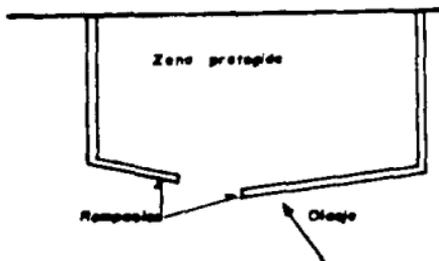


Fig. V.1

V. A. 1.- CLASIFICACION

a).- Rompeolas que amortiguan el oleaje.

Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes.

1.- Rompeolas sumergidos.

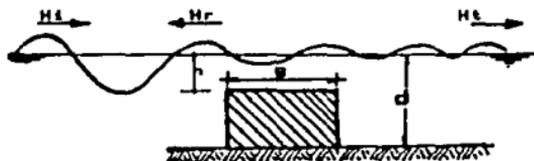


Fig. V.2

2.- Rompeolas flotantes.

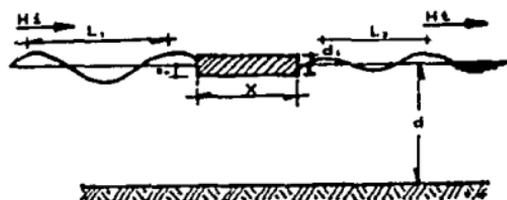


Fig. V.3

3.- Rompeolas neumáticos e hidráulicos

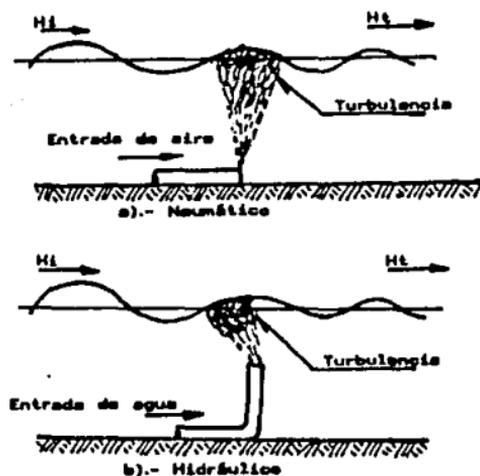


Fig. V.4

b) Rompeolas que impiden el paso del oleaje.

Por la forma en que se oponen al paso del oleaje, se clasifican en: de paramento vertical, de talud y mixtos.

1.- De paramento vertical.

Están constituidos por una pared vertical formada generalmente por cajones de concreto rellenos con arena y roca, fig.V.5.

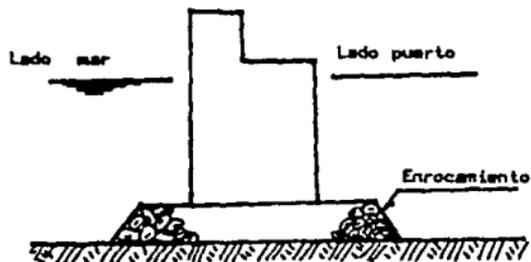


Fig. V.5

2.- Rompeolas de talud.

Son los más usuales en nuestro país y están constituidos básicamente por un núcleo, una capa secundaria y una coraza, fig. V.6.

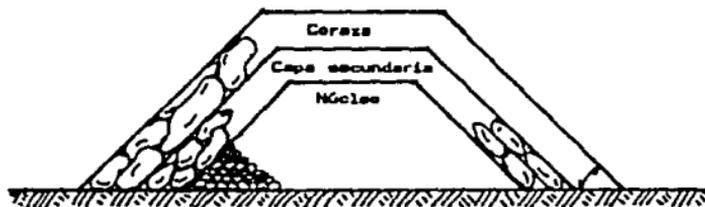


Fig. V.6

3.- Rompeolas mixtos.

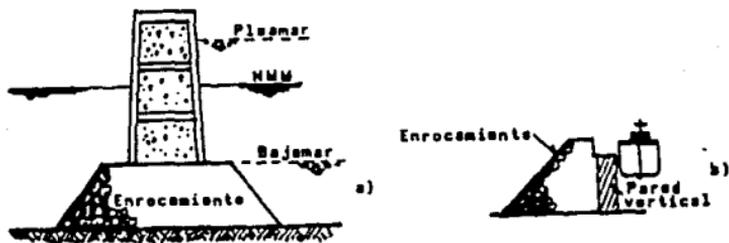


Fig. V.7

V.B. OBRAS DE PROTECCIÓN.

Como su nombre lo indica, este tipo de obras tiene como finalidad, el proteger una costa contra la acción destructora de los fenómenos oceanográficos (oleaje, corrientes, etc.) clasificándose en dos grupos: obras paralelas y obras perpendiculares a la playa.

V.B.1.- OBRAS PARALELAS A LA PLAYA.

a) Muros (malecón)

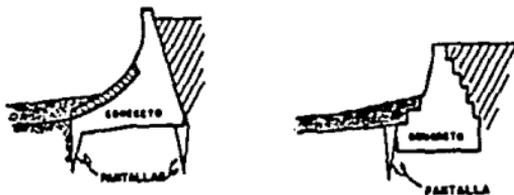


Fig. V.8

b) Revestimientos.

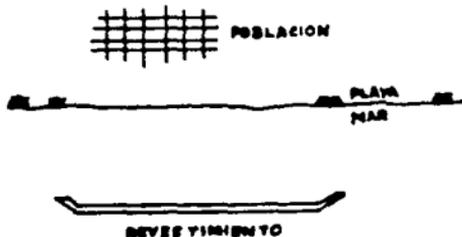


Fig. V.9

V.B.2 OBRAS PERPENDICULARES A LA PLAYA

Este tipo de obras llamadas generalmente "espigones", se colocan con la finalidad de reducir el transporte de sedimentos que se generan a lo largo de la línea de playa.

Lo anterior provoca que mientras de un lado del espigón se tenga acumulación de material (punto III.C.4), del otro lado se presenten erosiones, haciendo necesaria, la colocación de una serie de espigones (batería de espigones), comenzando en las zonas aguas abajo en relación al sentido del transporte dominante.

a) Espaciamiento.

El espaciamiento entre espigones varía entre 1.5 y 2 veces su longitud, la cual debe ser suficiente para rebasar la línea de rompientes.

b) Orientación.

Los espigones se orientan en la dirección del oleaje dominante o perpendiculares a la costa cuando dicho oleaje no presente una

dirección predominante de ataque.

c) Materiales que los componen.

Los espigones pueden construirse de madera, concreto, tablaestaca metálica, enhuacalado de piedra, enrocamiento, figura V.10.

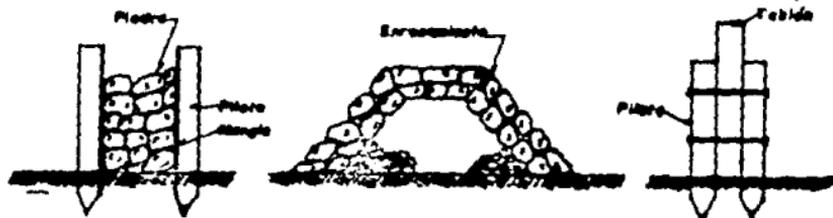


Fig. V.10

d) Forma en planta.

Además a los normales a la playa, existen espigones curvos, en T, en L, etc. Fig. V.11

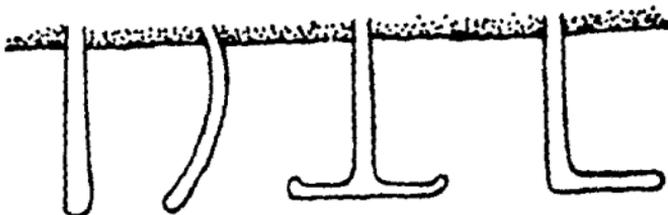


Fig. V.11

V.C.3. OBRAS DE ENCAUZAMIENTO O ESCOLLERAS.

Son iguales a un espigón y se utilizan para estabilizar la desembocadura de un río o el acceso a un canal, fig. V.12

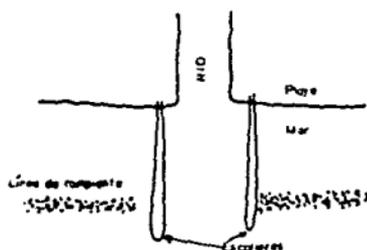


Fig. V.12

V.C.- DISEÑO DE ROMPEOLAS

1.- Obtención de la ola ciclónica.

Se obtiene a partir de la ec. 2,36, la cual se transforma en:

$$H_o' = K_r H_s \text{ ----- (5,1)}$$

Donde:

H_o' : Altura de ola refractada.

K_r : Coeficiente de refracción.

H_s : Altura de ola significativa, asociada a un periodo de retorno y obtenida por el método de SMB, cap. II.

2.- Cálculo del oleaje rompiente (Hr)

Esta altura de ola se obtiene de la gráfica siguiente:

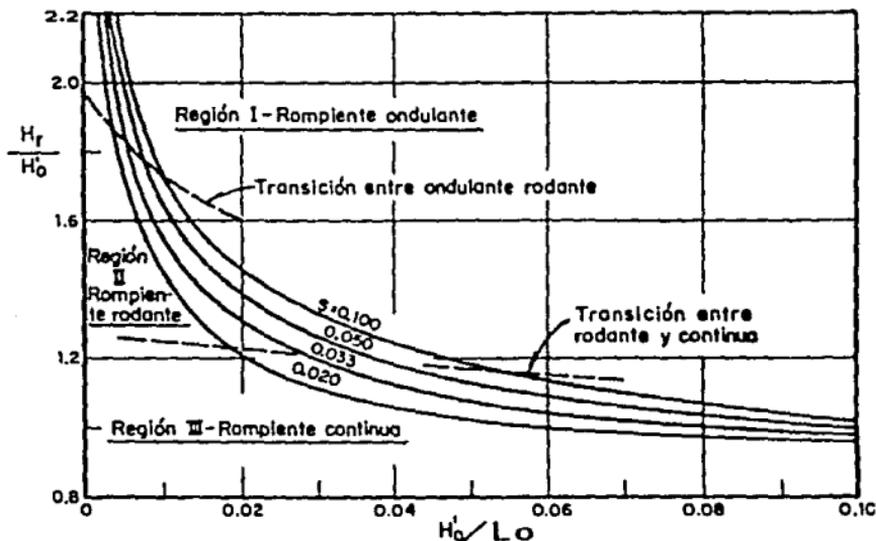


Fig. V.13

Donde: H_r : Altura de ola rompiente (m)
 H_0 : Valor obtenido de la ec. 5,1
 L_0 : Longitud de ola en aguas profundas.
 S : Pendiente de la playa.

La profundidad a la cual rompe la ola se determina utilizando la gráfica de la fig. V.13a.

d_r : Profundidad a la cual rompe el oleaje.

d_s : Profundidad del agua al pie de la estructura, fig. V.18.

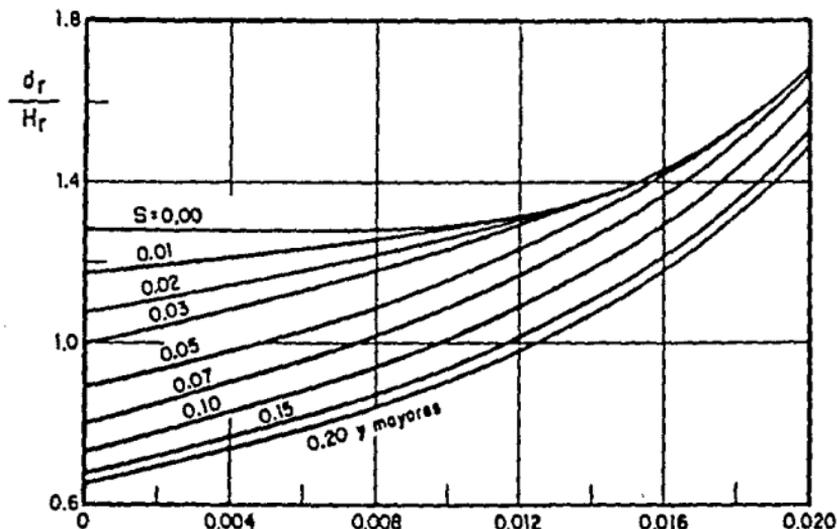


Fig. V.13a

3.- Criterio de selección de la ola de diseño.

Si $d_r < d_s$, la ola rompe sobre el talud del rompeolas y por lo tanto la ola de diseño es H_r .

Si $d_s < d_r$, la ola rompe sobre la pendiente de la playa. En este caso, la ola de diseño será H_0 .

4.- Diseño de la coraza

La coraza es el manto más exterior del rompeolas y puede estar constituido por rocas o bien, por elementos prefabricados de concreto. Estos elementos tienen distintas formas, siendo los más usuales: cubos, tetrapodos, dolos, tribarras, etc. figs. V.14, V.15, V.16, V.17.

Fig. V.14

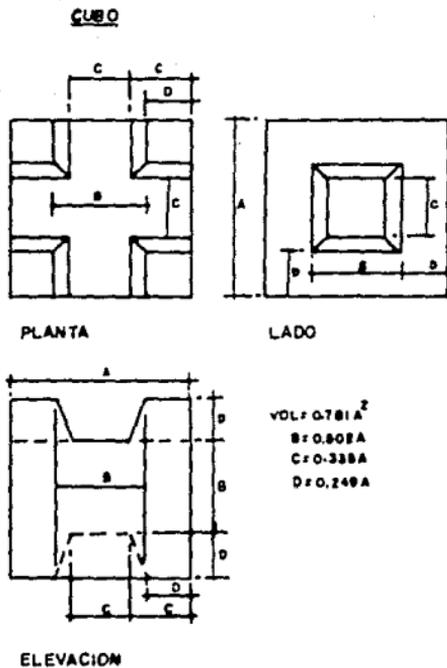
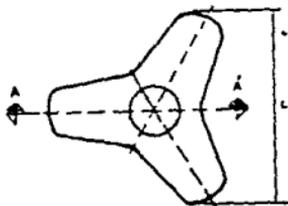
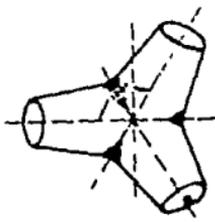


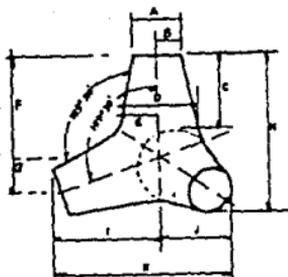
Fig. V.15

TETRAPODO

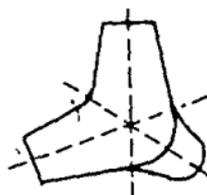
PLANTA



FONDO



ELEVACION



SECCION A A

$VDL = 0.280H$	$A = 0.302H$	$B = 0.181H$
$C = 0.477H$	$D = 0.470H$	$E = 0.236H$
$F = 0.844H$	$G = 0.213H$	$I = 0.806H$
$J = 0.303H$	$K = 1.091H$	$L = 1.201H$

Fig. V.16

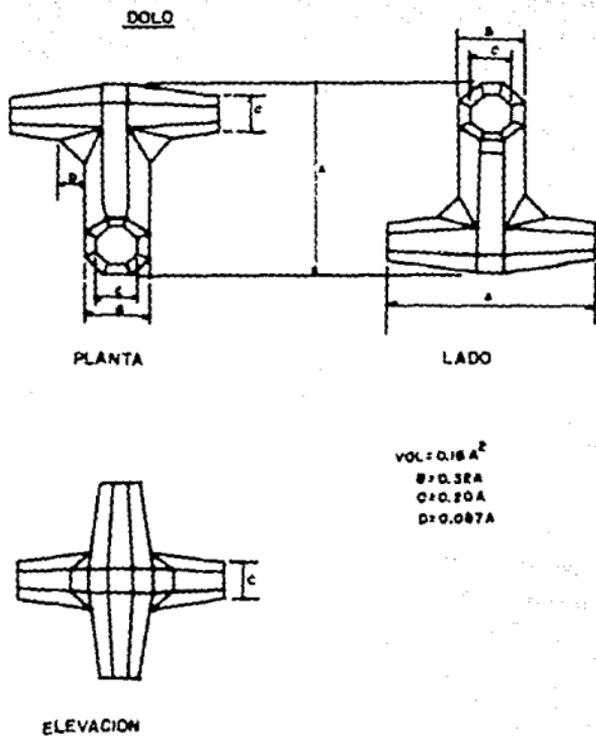
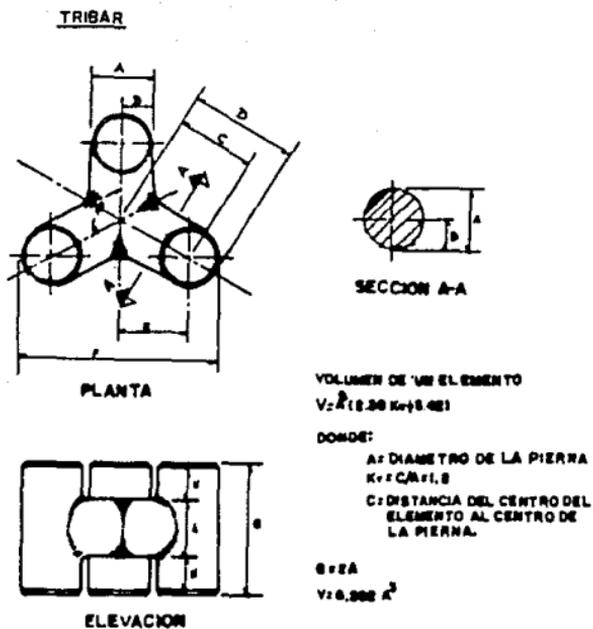


Fig. V.17



NOTA. SE RECOMIENDA QUE LA DIMENSION C Y LAS ARISTAS EN LAS INTERSECCIONES DE LOS MIEMBROS HORIZONTALES CON LOS VERTICALES TENGAN UN RADIO DE $A/4$

Ambos tipos de elementos son colocados generalmente en dos subcapas, de una manera ordenada o al azar y con un talud de 1.5:1 pudiendo utilizarse 2:1 y como máximo 3:1.

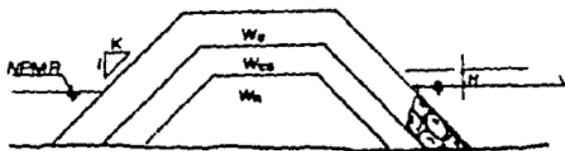


Fig. V.18

5. - Cálculo del peso de los elementos.

La expresión más empleada en el cálculo de los pesos unitarios de la coraza, es la fórmula de Hudson.

$$W_c = \frac{H_b^3 \gamma_s}{K_b (S_s - 1)^2 \cos \alpha} \quad (5.2)$$

Donde: γ_s : Peso específico del material en t/m^3

H_b : Altura de la ola de diseño (m)

S_s : Densidad del material γ_s/γ_w

α : Angulo que forma el talud con la ortogonal fig. V.18

K_b : Coeficiente de estabilidad, se obtiene de la tabla V-1., donde se encuentra en función de diversos factores (tipo de elemento, tipo de oleaje, zona de acomodo, etc.)

TABLA V-1
VALORES DE Kd (CERC)
 criterio de no daño y reducido rebalse

ELEMENTO	N (1)	COLOCACION	CUERPO		M O R R O		
			Kd (2)		Kd		
			raspiante	no raspiante	raspiante	no raspiante	talud
P I E D R A							
- lisa y redondeada	2	al azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5-3.0
- lisa y redondeada	> 3	al azar	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5-3.0
- rugosa y angular	2	al azar	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5
- rugosa y angular	> 3	al azar	3.9	4.5	3.7	4.2	1.5-3.0
T R I B A R							
	2	al azar	9.0	10.4	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					7.0	7.7	3.0
	1	uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	1.5-3.0
T E T R A P O D O							
	2	al azar	7.2	8.3	5.9	6.6	1.5
					5.5	6.1	2.0
					4.0	4.4	3.0
CUBO MODIFICADO							
	2	al azar	6.8	7.8		5.0	1.5-3.0

(1) número de capas que constituyen la caraza

(2) válido para taludes de 1.5 a 6.0

6.- Peso de los elementos de la capa secundaria y núcleo

Para la capa secundaria

$$Wc_s = \frac{Wc}{10} \pm 30\%$$

(5,3)

Para el núcleo

El peso para los elementos del núcleo se debe encontrar dentro del siguiente rango.

$$\frac{W_c}{4000} \leq W_n \leq \frac{W_c}{200} \quad \text{----- (5,4)}$$

TABLA V-2				
VALORES DE COEFICIENTES DE CAPA Y POROSIDAD				
ELEMENTO	N	COLOCACION	COEFICIENTE DE CAPA K_A	POROSIDAD P (%)
PIEDRA				
- lisa	2	al azar	1.02	38
- rugosa	2	al azar	1.15	37
- rugosa	>3	al azar	1.10	40
TRIBAR	2	al azar	1.02	54
TETRAPADO	2	al azar	1.04	50
CUBO MODIFICADO	2	al azar	1.10	47

7.- Espesores de la coraza y capa secundaria.

La expresión para calcular estos valores es:

$$e = n K_A (W/T_g)^{1/3} \quad \text{----- (5,5)}$$

Donde: e : Espesor (m). Fig. V.19.

n : Número de elementos por capa (generalmente son dos)

w : Peso de un elemento (W_c o W_{cs}) en ton.

γ_s : Peso específico del material ton/m^3

K_A : Coeficiente de forma, obtenido de la tabla V-2.

8.-Elevaciones

Las elevaciones de cada una de las capas que conforman la sección del rompeolas son:

$$E_n = \text{NPMR} + H \quad \text{----- a)}$$

$$E_{cs} = E_n + e_{cs} \quad \text{----- b) } \text{----- (5,5)}$$

$$E_c = E_{cs} + e_c \quad \text{----- c)}$$

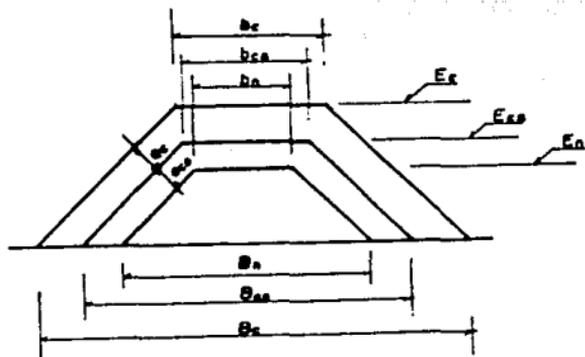


Fig. V.19

Donde:

E_n , E_{cs} y E_c , son las elevaciones del núcleo, capa secundaria

- y coraza respectivamente.
- MPMR : Nivel de pleamar máxima registrada, referida al nivel medio del mar (N.M.M.)
- H : Rango de seguridad, previendo que la marea no rebase el nivel de elevación considerado.
- ecs, ec : Espesores de la capa secundaria y coraza respectivamente.

Las dimensiones B y b se determinan por condiciones geométricas.

9.- Cálculo del Run-up (R).

Se denomina Run-up a la sobreelevación provocada por el rompimiento del oleaje sobre la estructura, fig. V.20. El criterio para su determinación está basado en ensayos realizados con modelos a escala.

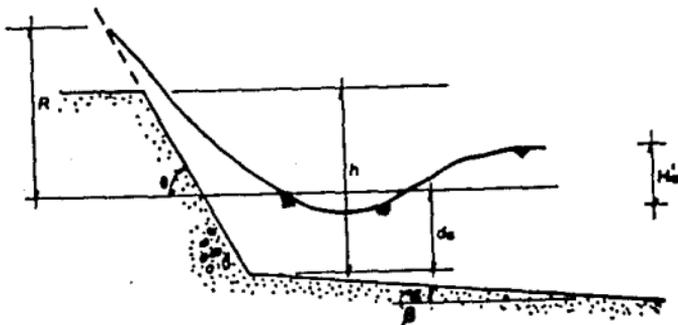


Fig. V.20

Dependiendo del talud ($\text{Cot } \theta$), de las relaciones $\frac{d_s}{H_o}$ y $\frac{H_o}{g t^2}$ se entra a cualquiera de las gráficas de la figura V.20, V.21, V.22 V.23, y V.24, se obtiene:

$\frac{R}{H_0}$, con lo cual ya se puede calcular R.

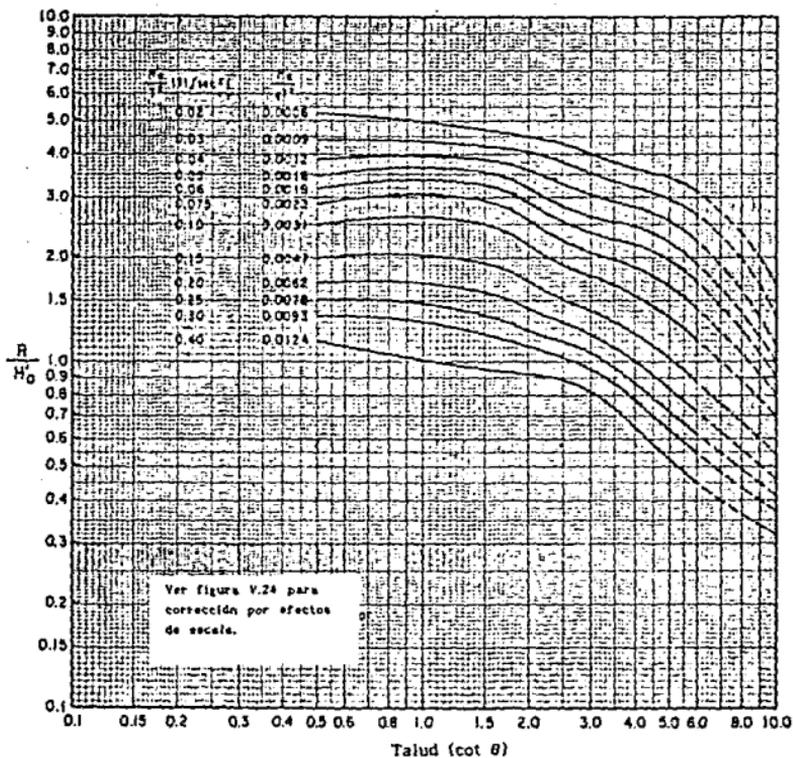


Fig. V.20.- Cálculo del run-up en taludes lisos e impermeables para $d_s/H_0 = 0.45$.

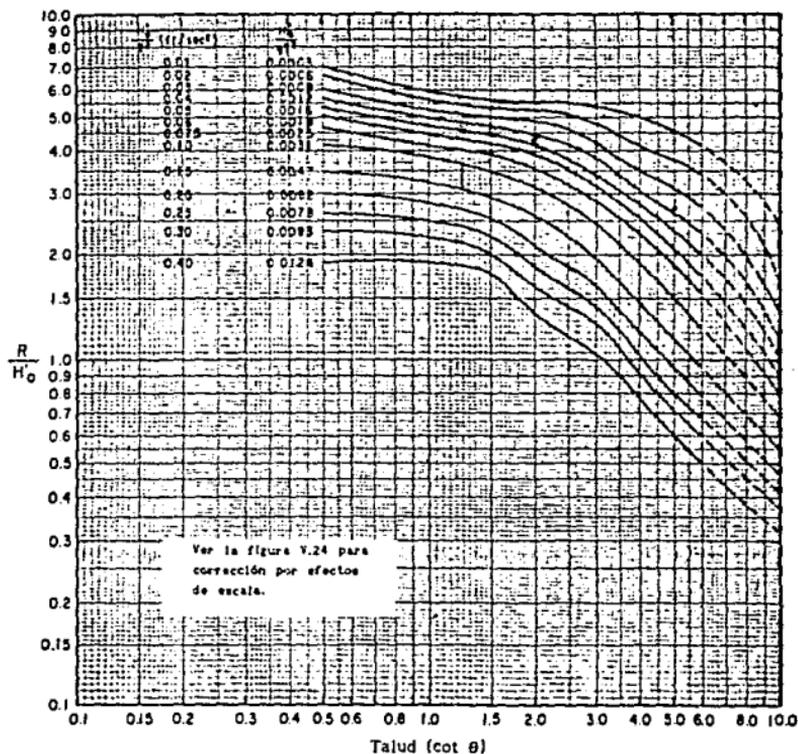


Figura V.21.- Cálculo del run-up en taludes lisos e impermeables para $d_s/H_0 = 0.80$

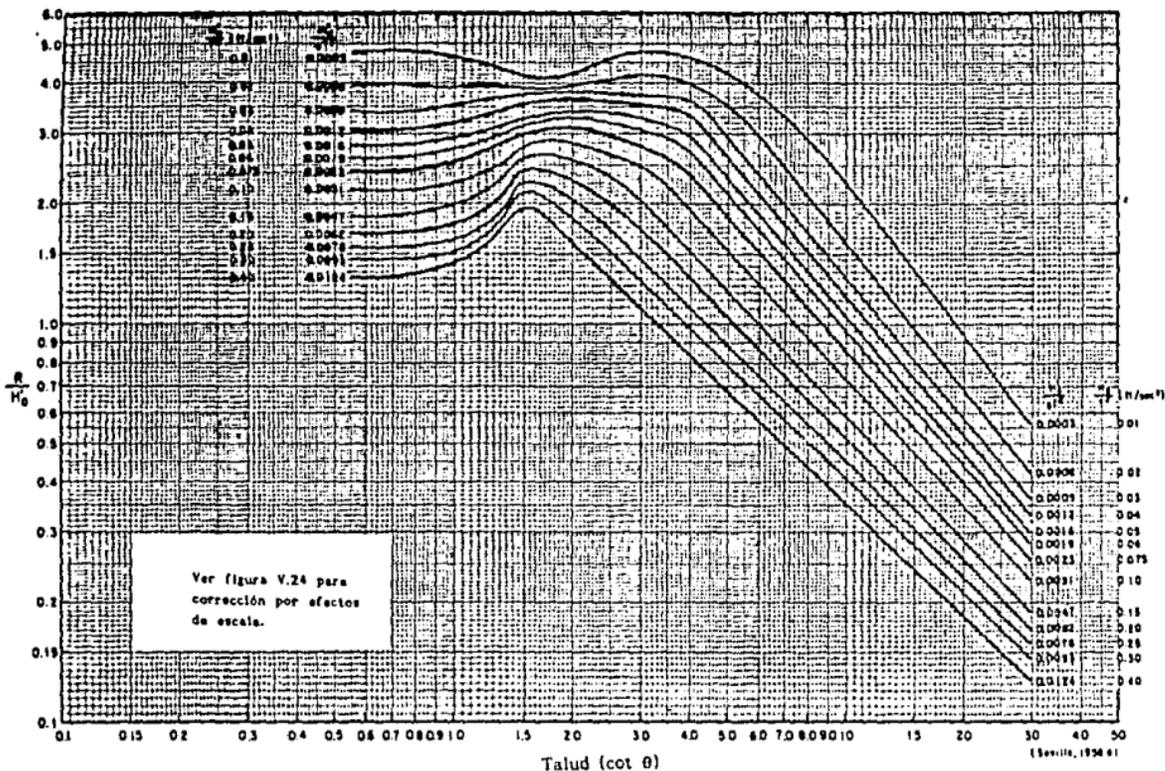


Figura V.22.- Cálculo del run-up en taludes lisos e impermeables para $d_n/H_0 = 2.0$

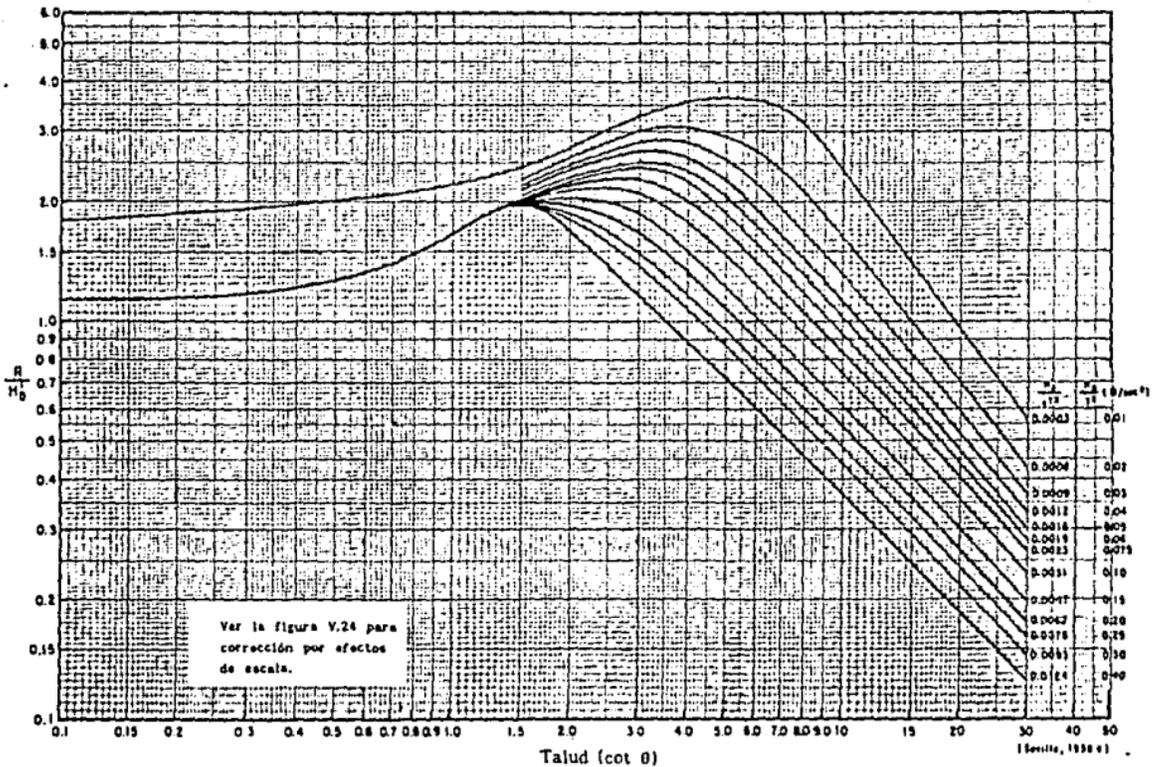


Figura V.23.- Cálculo del run-up en taludes lisos e impermeables para $d/H_0 \approx 3.0$

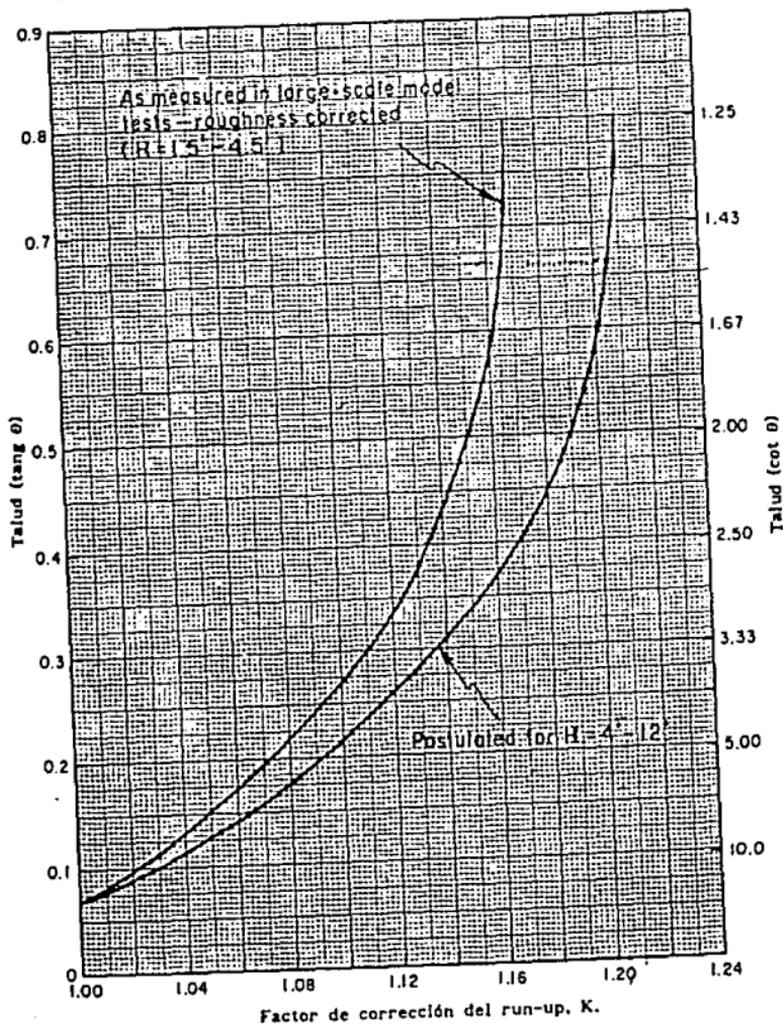


Figura V.24 .- Corrección del run-up por efectos de escala.

El valor de R así obtenido se le aplican dos factores de corrección:

K : Corrección debida a los efectos de escala entre modelo y prototipo. Se obtiene de la fig.V.24.

r : Corrección por el tipo de superficie entre el talud del modelo y prototipo; liso y rugoso respectivamente y varía de acuerdo al tipo de elemento que constituye la coraza:

TABLA V-3

MATERIAL	COLOCACION	r
Roca	Al azar	0.5 a 0.55
Elementos de concreto	Al azar	0.45 a 0.50

Por lo tanto:

$$R_c = K r R \text{ ----- (5,6)}$$

Siendo R_c el run-up corregido y que definirá la elevación de la coraza.

10.- Cálculo de los volúmenes

Estos volúmenes se calculan por condiciones geométricas, afectándolos por el coeficiente de porosidad P que aparece en la tabla V-2.

V.D.- MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.

Existen básicamente tres métodos constructivos de rompeolas.

a) Con equipo rodante.

Con este sistema, todo el material es transportado sobre la corona del rompeolas por medio de camiones, yucles o trenes. El material es vertido directamente en el núcleo (cuando éste no es sumergido) o colocado mediante grua (coraza).

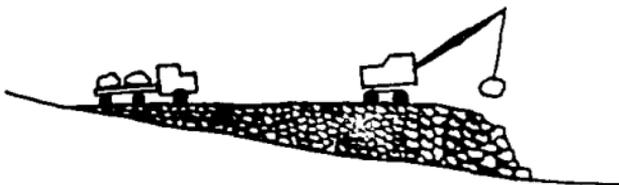


Fig. V.26

b) Con equipo flotante.

La utilización de equipo flotante puede resultar económica cuando se debe transportar grandes cantidades de material a zonas donde el acceso al equipo rodante esté muy restringido. Utilizándose para ello diferentes tipos de barcazas, que difieren sólo por el método de vertido.

Los problemas que puede afectar el uso de equipo flotante son:

- 1.- Condiciones de tiempo.
- 2.- Posicionamiento
- 3.- Calado

Sobre todo éste último, pues debido a él, la utilización de barcazas se limita a las partes del rompeolas que se encuentran a más de 4 m. de profundidad.



Fig. V.27

c) Combinación de equipo rodante y flotante.

Dependiendo de la parte del rompeolas a construir, ambos sistemas se complementan. Así por ejemplo:

Para las partes bajas del núcleo pueden construirse con equipo flotante, mientras que para la parte superior se pueden combinar:

- 1.- Transporte flotante y grúa sobre rompeolas.
- 2.- Transporte rodante y grúa flotante o sobre zancos.
- 3.- Transporte y grúa sobre rompeolas.

V.E.- COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES.

La colocación de los materiales depende de las condiciones físicas, meteorológicas, de disposición de equipo, etc.

a) Núcleo.

Salvo casos especiales, la colocación del material se realiza desde tierra mediante camiones de volteo; esta operación se efectúa ayudándose con alineamientos, boyas y un continuo seccionamiento figs.

V.28 a y V.28 b.

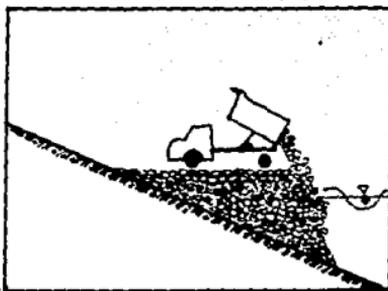


Fig. V.28 a



Fig. V.28 b

Al construir el núcleo será siempre necesario colocar material grueso en su parte exterior, de tal manera que resista el oleaje.

b) Capa secundaria o coraza.

Estas partes de la sección del rompeolas se construye de igual forma; parte desde tierra y parte con la grua montada sobre chalcán o sobre zancos.

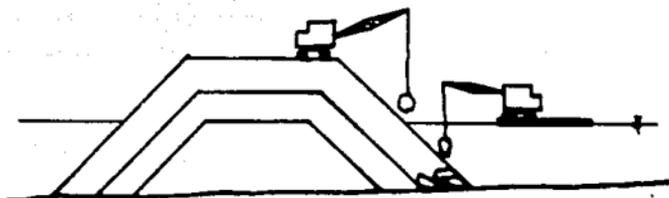


Fig. V.29

V.F.- DISEÑO DE MUROS VERTICALES.

a) Condiciones del muro.

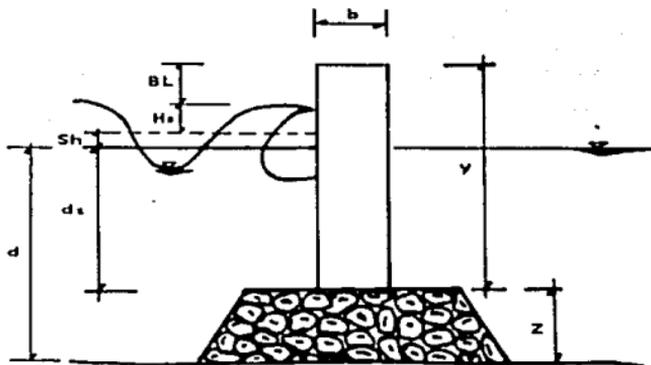


Fig. V.30

y : Altura del muro en metros sin incluir la cimentación.

b : Ancho del muro en metros.

BL : Bordo libre, generalmente se toma de 1 a 2.0 m.

Sh : Sobreelevación del mar debido a la reflexión de la ola.

$$Sh = \frac{\pi H_R^2}{L} \coth \frac{2\pi d}{L} \quad \text{-----} \quad (5,7)$$

L : Longitud de la ola (m.)

d : Profundidad (m.)

H_R : Máxima altura alcanzada por la ola por arriba de Sh.

$$H_R = \frac{H_i K_R}{2} \quad \text{-----} \quad (5,8)$$

K_R : Coeficiente de reflexión. Para muros lisos y verticales se produce una reflexión casi pura, siendo K_R = 2.0 (Tabla II-10)

H_i : Altura de la ola incidente.

Por lo anterior.

$$H_R = H_i \quad \text{-----} \quad (5,9)$$

b) Fuerzas actuantes.

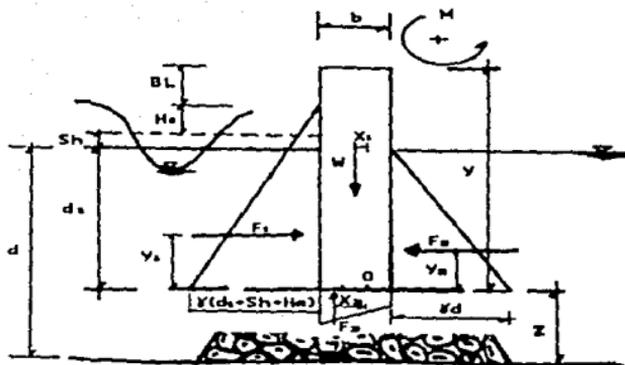


Fig. V.31

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma (d_1 + Sh + Hs)^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \gamma d_1^2$$

$$F_3 = F_3' + F_3''$$

$$F_3' = \gamma d b$$

$$F_3'' = \frac{1}{2} \gamma b (d_1 + Sh + Hs)$$

$$W = b y \gamma_s$$

$$y = \frac{1}{3} (d_1 + Sh + Hs)$$

$$y_2 = \frac{1}{3} d_1$$

$$X_2' = \frac{1}{3} b$$

$$X_2'' = \frac{1}{6} b$$

$$X_1 = \frac{1}{6} b$$

Para que no se presenten tenciones en el muro, se debe cumplir que:

$$\sum M_0 = 0$$

Es decir:

$$-F_1 y_1 + F_2 y_2 - F_3 x_2 - F_3 x_2 + W x_1 = 0 \quad \text{----- (5,10)}$$

Resolviendo esta última ecuación se obtiene el ancho del muro "b", mientras que la altura "y" ya está condicionada por:

$$y = d' + Sh + Ha + BL \quad \text{----- (5,11)}$$

V.G.- DISEÑO ÓPTIMO.

El diseño óptimo consiste en dimensionar una estructura tomando en cuenta no sólo los factores naturales, si no también los factores de tipo económico y financiero. El criterio usado puede ser de maximización de las relación beneficio-costo.

Parámetros que intervienen en el diseño óptimo.

Estos parámetros están agrupados en dos categorías.

Costos directos: Son los asociados al rompeolas mismo. Incluyen los costos derivados de la construcción y mantenimiento.

Costos indirectos: Se derivan de los daños físicos en la zona protegida y de las afectaciones de tipo comercial provocadas en el puerto y a la zona a la cual sirve.

Costos totales: Es la suma de los anteriores.

De lo anterior se puede concluir que el proceso de optimización consiste en encontrar el costo total mínimo del proyecto; para ello se lleva a cabo el siguiente procedimiento.

Se escogen diversas alternativas de diseño, obteniendo para cada una de ellas el costo total. Estos datos se vacían en una gráfica, obteniendo a partir de ella la sección óptima; es decir aquella cuyo costo total sea el mínimo, fig. V.32.

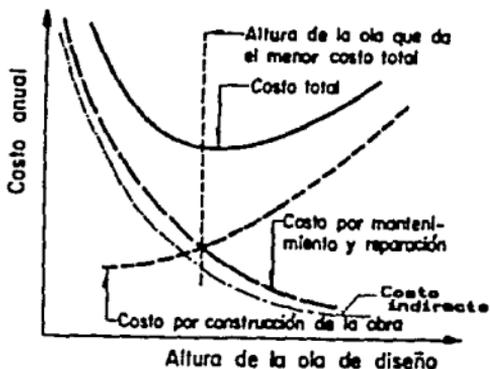
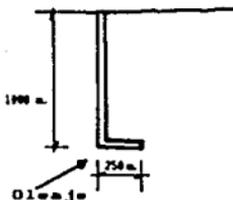


Fig. V.32

EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Para la zona del morro, diseñar la sección transversal del rompeolas, teniendo las siguientes condiciones.



$$\begin{aligned}
 H_o &= 4 \text{ m.} \\
 T_o &= 8 \text{ seg.} \\
 K_r &= 0.7 \\
 \text{NPMR} &= 1.0 \text{ m.} \\
 d &= -10 \text{ m.} \\
 K &= 1.5
 \end{aligned}$$

SOLUCION

1o.- Análisis de las condiciones de rompiente y cálculo de la ola de diseño.

De la ec. 5,1 $H_o' = 0.8 \times 4.0 = 3.2$

$$H_o' = 3.2 \text{ m.}$$

$$L_o = 1.56 \times 64 = 100 \text{ m.} \quad s = \frac{10}{1000} = 0.01$$

$\frac{H_o'}{L_o} = \frac{3.2}{100} = 0.03$; entrando con este valor en la fig. V.13 se lee.

$$\frac{H_r}{H_o} = 1.1 \quad \dots \dots \dots \quad H_r = 1.1 \times 3.2 = 3.5$$

$$H_r = 3.5 \text{ m.}$$

$$\frac{H_r}{g T^2} = \frac{3.5}{9.81 \times 64} = 0.005; \text{ con este valor y el de la}$$

pendiente s , en la fig.V.13a se lee:

$$\frac{d_r}{H_r} = 1.22 \quad \dots \dots \dots \quad d_r = 1.22 \times 3.2 = 3.5$$

$$d_r = 3.9 \text{ m.}$$

Como $d_r < d_s$, la ola rompe sobre el talud, por lo tanto:

$$H_d = H_r = 3.5 \text{ m.}$$

2o.- Cálculo del peso de los elementos de la coraza.

Se utilizará un talud de 1.5 : 1

Roca:

$$\gamma_s = 2.3 \text{ ton/m}^3 \quad K_d = 2.9$$

$$\text{De la ec. 5,2 } W_c = \frac{3.5^3 \times 2.3}{2.9 \times (2.3 - 1)^3 \times 1.5} = 10.3 \text{ ton.}$$

- Cubos modificados.

$$\gamma_s = 2.1 \text{ ton/m}^3 \quad K_d = 6.8$$

$$W_c = \frac{3.5^3 \times 2.1}{6.8 \times (2.1 - 1)^3 \times 1.5} = 7.0 \text{ ton.}$$

Dado que puede resultar difícil el conseguir roca de 10 ton., la coraza se construirá con cubos modificados. Por lo tanto:

$$W_c = 7 \text{ ton}$$

3o.- Cálculo del peso de los elementos de la capa secundaria.

$$\text{De la ec.5,3 } W_{cs} = \frac{7}{10} \pm 30 \text{ \& } = 0.7 \pm 30 \text{ \& }$$

$$\text{Es decir } 0.5 \text{ ton. } \pm W_{cs} = 0.9 \text{ ton}$$

Para este caso si es posible el uso de roca

40.- Peso de los elementos del núcleo.

$$\text{De la ec. 5,4} \quad \frac{7000}{4000} = 2$$

$$\frac{7000}{200} = 35$$

Por lo tanto

$$2 \text{ Kg.} \leq W_n \leq 35 \text{ Kg.}$$

50.- Espesores.

-Coraza.

$$\text{De la ec. 5,5} \quad e_c = 2 \times 1.1 \times (7/2.1)^{1/3} = 3.3 \text{ m.}$$

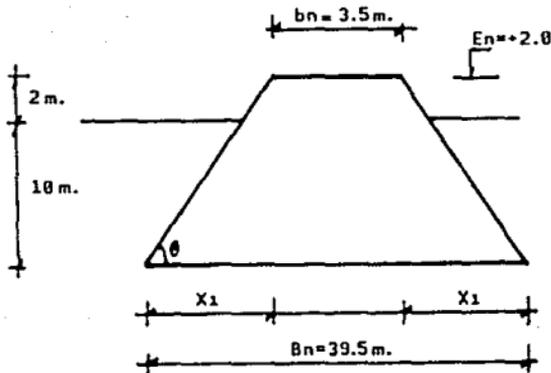
- Capa secundaria.

$$e_{cs} = 2 \times 1.15 \times (0.7/2.3)^{1/3} = 1.5 \text{ m.}$$

$$e_c = 3.3 \text{ m.}$$

$$e_{cs} = 1.5 \text{ m.}$$

60.- Elevaciones y ancho de la corona.



De la ec. 5,5a

$$E_n = 1.0 + 1.0 = 2.0 \text{ m.}$$

Para permitir el paso de vehiculos,

$$b_n = 3.5 \text{ m.}$$

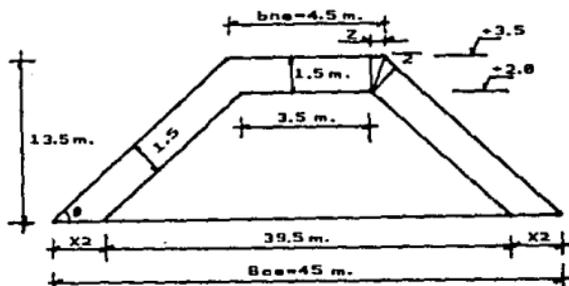
$$\text{Tang } \theta = \frac{1}{1.5} \quad \dots\dots\dots \theta = 33.7^\circ$$

$$\frac{X_1}{12} = \cot \theta \quad \dots\dots\dots X_1 = 12 \times 1.5 = 18 \text{ m.}$$

$$B_n = b_n + 2 X_1 = 3.5 + 2 \times 18 = 39.5 \text{ m.}$$

-Capa secundaria

$$\frac{Z}{1.5} = \text{tang } \frac{\theta}{2} \quad \quad \quad Z = 1.5 \text{ tang } \frac{33.7}{2} \quad \rightarrow \quad Z = 0.5$$



$$b_{ca} = b_n + 2 Z = 3.5 + 2 \times 0.5 = 4.5$$

$$\frac{1.5}{X_2} = \text{sen } 33.7 \quad \rightarrow \quad X_2 = \frac{1.5}{\text{sen } 33.7} = 2.7 \text{ m.}$$

$$B_{ca} = B_n + 2 X_2 = 39.5 + 2 \times 2.7 = 45 \text{ m.}$$

Coraza.

-Cálculo del run-up.

$$\frac{H_0}{2} = \frac{3.5}{9.81 \times 64} = 0.004 \qquad \frac{d_s}{H_0} = \frac{10}{3.5} = 2.8 \approx 3.0$$

Con estos datos, en la fig. V.23 se lee.

$$\frac{R}{H_0} = 2.0 \quad \dots \Rightarrow \quad R = 2.0 \times 4 = 8 \text{ m.}$$

1.20. En la figura V.24, el valor de K se encuentra entre 1.16 y

Para este caso, $K = 1.18$

En la tabla V-3 se toma el valor de r

$$r = 0.45$$

Por lo tanto $R_c = 8 \times 1.18 \times 0.45 = 4.30 \text{ m.}$

Este valor es el que define la elevación de la coraza

$$E_c = + 4.30 \text{ m.}$$

7o.- Cálculo de los volúmenes de obra.

Se considerará una longitud de morro igual a 15 metros.

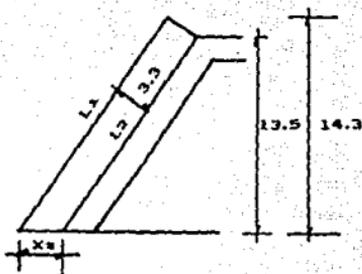
-Area del núcleo.

$$A_n = \frac{3.5 + 39.5}{2} \times 12 = 258 \text{ m}^2$$

Area de la capa secundaria.

$$A_{cs} = \frac{4.5 + 45}{2} \times 13.5 - 258 = 76.12 \text{ m}^2$$

Area de la coraza.



$$\text{sen } 33.7 = \frac{14.3}{L_1} = \frac{13.50}{L_2}$$

$$L_1 = \frac{14.30}{\text{sen } 33.7} = 25.8 \text{ m.}$$

$$L_2 = \frac{13.50}{\text{sen } 33.7} = 24.3 \text{ m.}$$

$$X_1 = 3.3 \cot 33.7 = 5 \text{ m.}$$

$$B_c = B_{cs} + X_1 = 45 + 5 = 50 \text{ m.}$$

$$A_c = \frac{25.8 + 24.3}{2} \times 3.3 = 83 \text{ m}^2$$

Volumen del núcleo.

$$V_n = A_n \times L_{\text{corro}} = 258 \times 15 = 3870 \text{ m}^3$$

Volumen de la capa secundaria.

$$V_{cs} = A_{cs} \times L_{\text{corro}} = 76.12 \times 15 = 1142 \text{ m}^3$$

Volumen de la coraza.

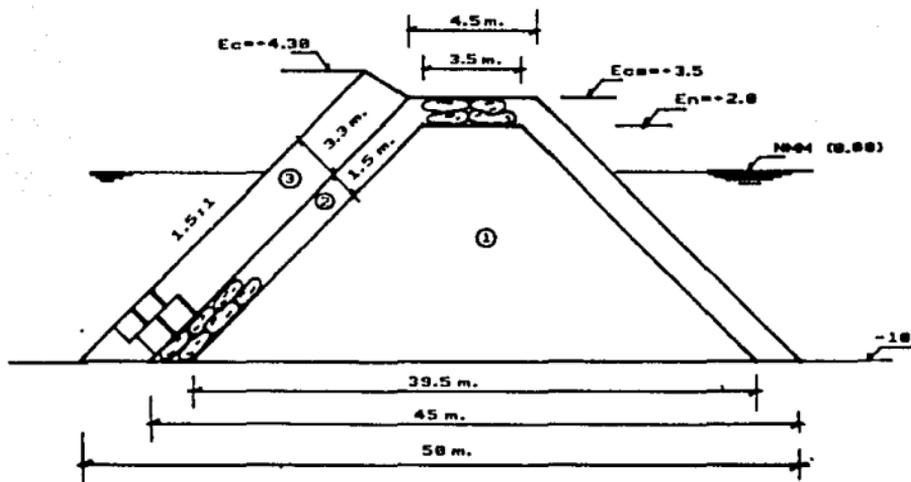
$$V_c = A_c \times L_{\text{corro}} = 83 \times 15 = 1245 \text{ m}^3$$

CANTIDADES DE MATERIAL

CONCEPTO	VOLUMEN GEOMETRICO m ³	POROSIDAD %	VOLUMEN REAL m ³	PESO Ton.
Roca 2 a 35 kg.	3870	37	2438	5607
Roca 500 a 900 kg.	1142	37	720	1656
Cubos 7 ton.	1245	47	660	1384
TOTALES	6257		3818	8647

SECCION EN -10

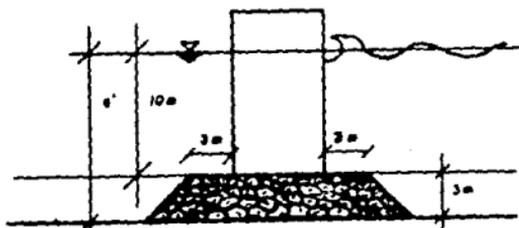
- 1 NUCLEO: roca de 2 a 35 kg.
- 2 CAPA SECUNDARIA: dos capas de roca de 500 a 900 kg.
- 3 CORAZA: dos capas de cubos modificados de 7 ton.



2.- Diseñar el muro que se muestra en la figura, sometido a la acción de un oleaje con una altura de ola de 3.5 m. y período de 10 seg.

La pendiente de la playa es de 3 milésimas y se considera una reflexión casi pura.

$$\gamma = 1.03 \text{ T/m}^3 \quad \gamma_c = 2.4 \text{ T/m}^3$$



Solución:

1.- Revisión de las condiciones de rompiente.

De la ec. 2,10a $L_0 = 1.56 \times 10^2 = 156 \text{ m.}$

$\frac{d}{L_0} = \frac{13}{156} = 0.083$, con este valor, en la tablas del anexo A se obtiene la relación:

$\tanh \frac{2\pi d}{L} = 0.659$ por lo tanto:

De la ec. 2,15 $L = 156 \times 0.659 = 102.8 \text{ m.}$

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{3}{156} = 0.019 \quad S = 0.003$$

Con estos datos se, en la gráfica V.13 se obtiene $\frac{H_r}{H_o} = 1.15$

La altura de ola rompiente es $H_r = 1.15 \times 3.5 = 3.45 \text{ m}$

$$\frac{d_r}{gt^2} = \frac{3.45}{9.81 \times 100} = 0.0035, \text{ en la gráfica V.13a se obtiene:}$$

$\frac{d_r}{H_r} = 1.25$ por lo tanto, la ola rompe a una profundidad de:

$$d_r = 1.25 \times 3.45 = 4.31 \text{ m.}$$

Por lo que se diseñará para una altura de ola no rompiente.

2.- Determinación de la sobreelevación del nivel del mar.

Si se tiene una reflexión casi pura $K_R = 2.0$

De la ec. 5,8 $H_R = \frac{3.5 \times 2}{2} = 3.5 \text{ m.}$

De la ec. 5,7 $S_h = \frac{\pi \times 3.5^2}{102.8} \frac{1}{0.659} = 0.57 \text{ m.}$

3.- Fuerzas actuantes.

$$F_1 = \frac{1}{2} \times 1.03 \times (10 + 0.57 + 3.5)^2 = 102 \text{ ton.}$$

$$Y_1 = \frac{1}{3} \times (10 + 0.57 + 3.5) = 4.69 \text{ m.}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \times 1.03 \times 10^2 = 51.5 \text{ ton.}$$

$$Y_2 = \frac{1}{3} \times 10 = 3.333 \text{ m.}$$

$$F_3 = 1.03 \times 10 \text{ b} = 10.3 \text{ b}$$

$$X_2' = \frac{1}{6} b$$

$$F_3'' = \frac{1}{2} \times 1.03 b (10 + 0.57 + 3.5) = 7.25 b$$

$$X_2'' = \frac{1}{3} b$$

Se considera un bordo libre de 2.0 m.

$$\text{De la ec. 5,11} \quad Y = 10 + 0.57 + 3.5 + 2.0 = 16.07 \text{ m}$$

$$W = 16.07 \times 2.4 b = 38.57 b$$

$$X_1 = \frac{1}{6} b$$

De la ec. 5,10

$$\sum M_o = 0$$

$$-102 \times 4.69 + 51.15 \times 3.33 - 10.3 b \frac{1}{6} b - 7.25 b \frac{1}{3} b + 38.57 b \frac{1}{6} b = 0$$

Resolviendo esta última ecuación se obtiene:

$$b = 11.60 \text{ m.}$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1.- Diseñar el cuerpo del rompeolas del primer ejercicio, realizando el cálculo para dos secciones.

2.- Diseñar un muro que se colocará a 500 m. de la costa y que es afectado por un oleaje cuya altura en aguas profundas es de 4 m. y periodo de 9 seg. La pendiente de la playa es de 0.02 y en la zona se tiene un coeficiente de refracción $K_r = 0.85$.

$$\gamma = 1.03 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

VI.- MODELOS MARITIMOS PORTUARIOS

VI.A.- DEFINICIÓN

Un modelo es una representación a escala de las condiciones naturales a las cuales está sometida una estructura (prototipo).

En hidráulica marítima, un modelo nos permite:

- Estimar el grado de calma en el puerto y determinar la alineación de los rompeolas.
- Determinar la estabilidad de los rompeolas.
- Estudiar los movimientos de arena para la conservación de áreas costeras.
- Analizar el movimiento de los barcos dentro del puerto y determinar la fuerza que el oleaje ejerce sobre ellos.

Sin embargo, la construcción de un modelo marítimo sólo se justifica cuando la magnitud e importancia del proyecto así lo requieran.

VI.B.- CLASIFICACIÓN

a) En cuanto a escalas.

- 1.- *Distorsionados.* - Un modelo es distorsionado si la escala vertical es diferente a la escala horizontal.
- 2.- *No distorsionados.* - En este caso la escala vertical es igual a la escala horizontal.

b) Por el tipo de fondo.

- 1.- *Fondo fijo.* - En este caso, el fondo es de tipo rígido no erosionable.

2.- Fondo móvil.- El fondo se construye con arenas o baquelita, de tal manera que se pueda observar su desplazamiento.

c) Por el oleaje considerado.

1.- Modelos operados con oleaje regular.- La altura de ola generada es constante respecto al tiempo.

2.- Modelos operados con oleaje irregular.- En este caso se considera todo el espectro de oleaje, es decir que la altura de ola varía con respecto al tiempo.

Las figuras anexas muestran que el fenómeno de la difracción se presenta de forma diferente para oleaje regular y para oleaje irregular. Los números en las curvas de nivel corresponden a los coeficientes de difracción.

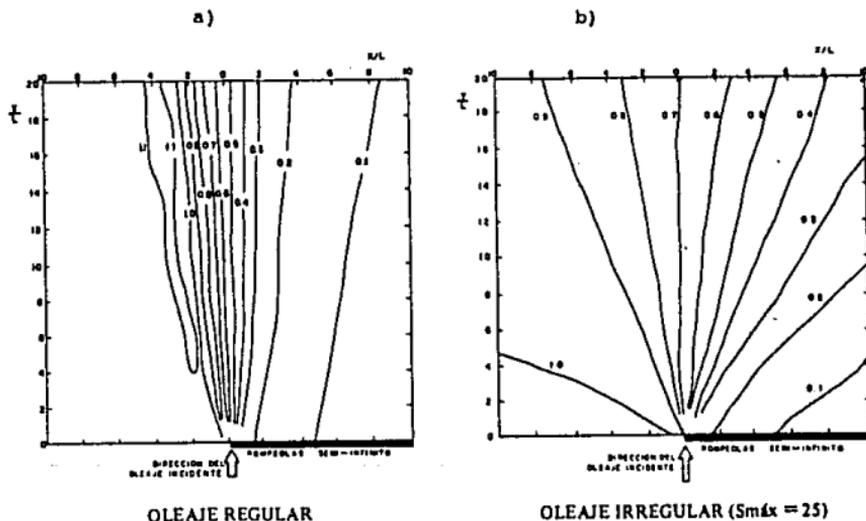


Fig. VI.1

En especial, la altura detrás del rompeolas con oleaje regular es menor que para oleaje irregular.

Dada la mayor precisión en los resultados obtenidos con oleaje irregular; los mayores beneficios se tienen para los siguientes experimentos.

1.- Transformación de oleaje por efectos de la configuración del fondo marino o de las estructuras colocadas en el mar.

2.- Determinación del rebase de una estructura "Wave Overtopping"

3.- Estabilidad de las estructuras marítimas.

4.- Movimiento de las estructuras flotantes, incluyendo barcos y boyas.

VI.C.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS HIDRÁULICOS

De manera muy general se mencionarán las condiciones que debe cumplir un modelo hidráulico, las cuales son:

a) Similitud geométrica. La relación entre las magnitudes lineales homólogas entre modelo y prototipo debe ser constante.

b) Similitud cinemática. La relación entre los tiempos que emplean las partículas para recorrer distancias homólogas debe ser constante.

c) Similitud dinámica. Se refiere a que, la relación entre las masas que pasan por una sección homóloga debe ser constante.

Las relaciones arriba referidas son las escalas de similitud, es decir.

$$E_A = \frac{AP}{A_m} \quad \text{-----} \quad (6,1)$$

Donde:

- E_A : Escala de magnitudes
 AP : Magnitud en el prototipo
 A_m : Magnitud en el modelo

Estas escalas están ligadas entre sí por números adimensionales o leyes de semejanza. Estas leyes son función de las fuerzas que rigen un fenómeno en particular.

En virtud de que en los modelos marítimos el parámetro que rige es la fuerza de gravedad; el análisis para obtener las relaciones entre las diferentes escalas se realizan en base al número de Froude.

entre

$$F = \frac{V}{\sqrt{g Y}} \quad \text{-----} \quad (6,2)$$

Donde:

- F : Número de Froude
 V : Velocidad (m/s)
 g : Gravedad (m/s^2)
 Y : Tirante hidráulico

La velocidad V puede corresponder al valor de la celeridad C .

En modelos no distorsionados, el radio hidráulico es igual a la longitud de ola L .

Con las condiciones anteriores se tiene:

$$F = \frac{C}{\sqrt{g L}} \quad \text{-----} \quad (6,3)$$

Es condición que el número adimensional sea igual tanto en prototipo como en el modelo.

$$F_p = F_m \quad \text{ó} \quad \boxed{\frac{F_p}{F_m} = 1} \quad \text{-----} \quad (6,4)$$

Así, para obtener la escala de celeridades:

$$\frac{C_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{C_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad , \text{ pero } g_p = g_m$$

$$\frac{C_p}{C_m} = \sqrt{\frac{L_p}{L_m}} \quad \rightarrow \quad \boxed{E_C = E_L^{1/2}} \quad \text{-----} \quad (6,5)$$

Y la escala de tiempos es:

$$\frac{L_p}{T_p \sqrt{g_p L_p}} = \frac{L_m}{T_m \sqrt{g_m L_m}} \quad \Delta \quad \frac{T_p}{T_m} = \frac{L_p \sqrt{g_m L_m}}{L_m \sqrt{g_p L_p}}$$

Finalmente:

$$\boxed{E_T = E_L^{1/2}} \quad \text{-----} \quad (6,6)$$

En la siguiente tabla se resumen las escalas más usuales.

NOMBRE	SIMBOLO	RELACION	COMENTARIOS
Escala de líneas	EL	EL	
Escala de áreas	EA	$EA = EL^{1/2}$	
Escala de volúmenes	EV	$EV = EL^3$	
Escala de periodos	ET	$ET = EL^{1/2}$	
Escala de celeridades	EC	$EC = EL^{1/2}$	En modelos no distorsionados.
Escala de pesos específicos	E γ	$E\gamma = 1$	Peso específico de los elementos utilizados en los rompeolas.
Escala de pesos	EW	$EW = EL^3$	
Escala de celeridades por marea	EC _m	EC _m = Ed	Ed : escala de profundidades.

VI.D.- INSTALACIONES Y EQUIPO UTILIZADOS EN LA REALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.

Para el registro y análisis de los datos y observaciones obtenidos de los estudios en los modelos hidráulicos, es preciso contar con una serie de instalaciones y equipo, los cuales puedan ir desde los más simples hasta los más complejos y sofisticados.

a) Canal de olas.

Dentro de las instalaciones más importantes se tienen los canales de olas y los tanques de morros.

En los canales de olas se realizan experimentos de estabilidad de las estructuras y playas o experimentos para analizar los movimientos de los barcos atracados en el muelle.

En el primer caso, el canal tiene las siguientes características:

Se compone de una zona de pared vítrea, lo que permite observar la interacción entre el oleaje y la estructura. El oleaje es producido por un generador que para tal efecto, se encuentra colocado en un extremo del canal, fig. V.2

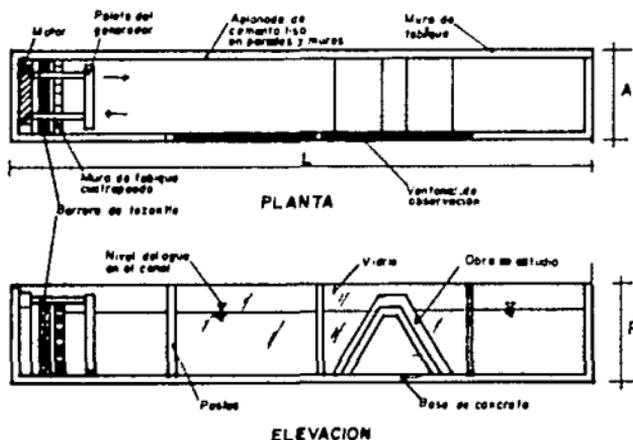


Fig. V.2 Canal de olas

Las dimensiones del canal son generalmente:

Ancho	$0.60 \leq A \leq 0.70$ m.
Longitud	$30 \leq L \leq 50$ m.

Profundidad $0.90 \leq P \leq 1.50$ m.

Los experimentos que aquí se realizan pueden quedar clasificados de la siguiente forma:

- Experimentos de overtopping (rebase de la estructura)
- Experimentos de estabilidad de los elementos sueltos para las estructuras.
- Experimentos de reflexión de oleaje para diversos tipos de estructuras.
- Experimentos de socavación al pie de las estructuras de protección playera.

b) Canal para analizar el movimiento de las embarcaciones.

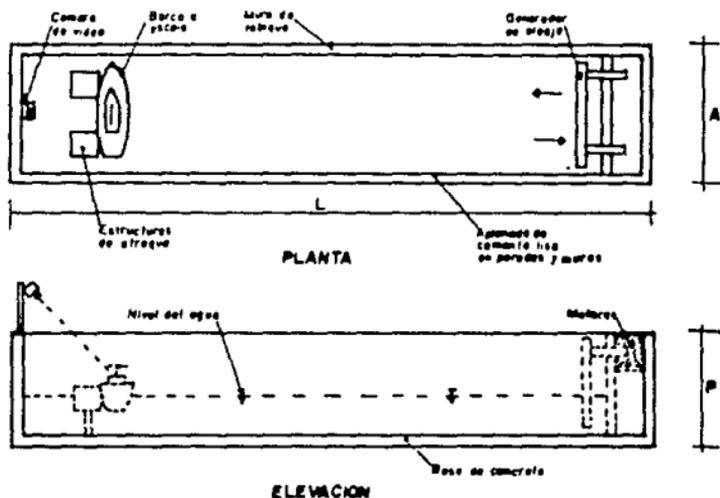


Fig. VI.3

El otro tipo de canales referidos anteriormente son los canales donde se analizan los movimientos que tiene un barco cuando se encuentra atracado. La importancia en la determinación de tales movimientos es que éstos disminuyen la eficiencia en las operaciones de carga y descarga. Así mediante el resultado de los estudios se pueda definir los tipos de anarras, planear la ubicación de las estructuras interiores y exteriores, etc.

Estos canales tienen las siguientes características, fig. V.3

Se compone de una pared de tabique, cuenta con un generador de oleaje colocado en uno de sus extremos, con estructuras de atraque y un barco a escala; siendo sus dimensiones más comunes:

Ancho	$A = 4.5 \text{ m.}$
Longitud	$L = 35 \text{ m.}$
Altura	$D = 1.3 \text{ m.}$

c) Tanque de morros.

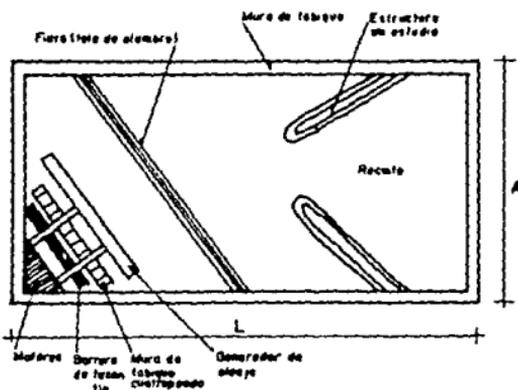


Fig. VI-4. Tanque de morros.

Estos tanques se utilizan cuando es necesario estudiar la agitación en un recinto o cuando el análisis de estabilidad se realiza en tres dimensiones a fin de conocer el comportamiento integral de la obra; utilizándose fondo móvil para éste último mientras que para el primero se recomienda utilizar fondo fijo.

La figura VI.4 muestra un tanque de mortos con las secciones a probar.

En estos modelos, las escalas más usadas son 1:50 y 1:100 y pueden realizarse otro tipo de estudios como pueden ser: análisis de enrocamientos de protección en canales de navegación, etc.

d) Amortiguamiento del oleaje en los tanques.

En todos los tanques anteriormente descritos, al moverse el batidor, produce oleaje tanto hacia adelante como hacia atrás; este último produce una gran agitación en la parte posterior del batidor, lo cual puede afectar los resultados del estudio.

Para disminuir esta agitación se colocan amortiguadoras de oleaje. Una consiste en un muro de tabique colocado de tal manera que queden huecos por donde pueda pasar el agua y eliminar de esta forma la energía de la ola. En seguida se coloca una barrera de tozontla contenida en una malla, lo suficientemente cerrada para retener adecuadamente las piedras.

Las olas que se generan hacia adelante y que se utilizan para el estudio salen del batidor con ciertas irregularidades debido a las fugas que se presentan en los extremos de batidor. Para corregir este defecto se coloca un filtro frente al batidor consistente en una tela de alambre doblada en zig-zag en la dirección del oleaje, fig. V.4.

e) Instrumentación.

1.- Generadores de oleaje.

Estos aparatos tienen la función de reproducir el oleaje. Esto

se logra mediante el movimiento de un cuerpo (paleta plana o batidor) introducido en el vaso. La paleta puede ser flexible o rígida, siendo ésta última la más usada en los modelos marítimos.

Dependiendo de las necesidades y equipos adicionales que se tengan, estos generadores pueden producir oleaje regular u oleaje irregular.

Para estudios en que la irregularidad del oleaje no es muy importante, el generador es bastante simple; la paleta está unida a una biela que en su extremo se articula a una manivela la cual es movida por un motor, tal como se muestra en la siguiente figura.

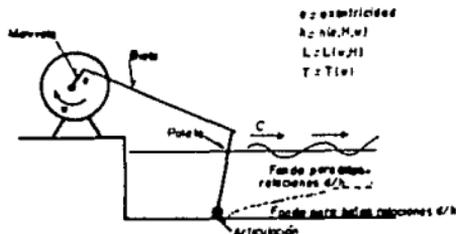


Fig. V.6

Por otra parte, si el estudio requiere de la utilización de oleaje irregular, el generador debe contar con una serie de dispositivos que le envíen la información necesaria para generar una ola en un momento determinado. Esta información corresponde a los períodos y a las longitudes de ola de un cierto registro.

La figura siguiente muestra el esquema típico de un generador con toda la instrumentación requerida para reproducir y registrar el oleaje.

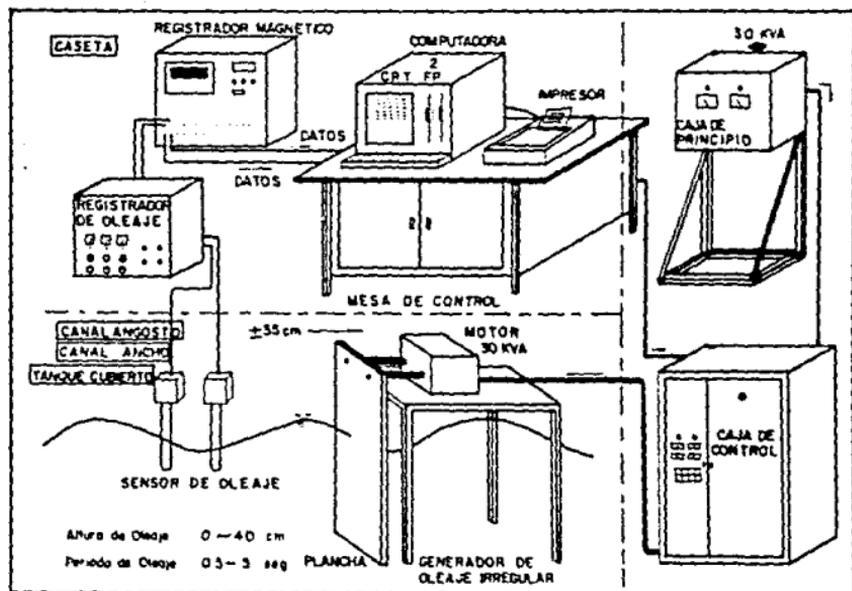


Fig. VI.7.

El funcionamiento del sistema es básicamente el siguiente:

- La plancha del generador, puede generar con la señal de la computadora un oleaje irregular con cualquier espectro frecuencial. El vaso donde se mueve la plancha (batidor) puede ser el correspondiente a algunos de los canales antes citados o un tanque de morros.

La computadora tiene la función de conversión de D/A (digital a análogo) para cambiar el resultado del cálculo al voltaje análogo correspondiente.

- El ológrafo (registrador de oleaje), que incluye a los sensores, cambia las variaciones en el nivel del agua al voltaje análogo, éste a su vez es guardado en el registrador magnético.

- La computadora que tiene conversión de A/D (análogo a digital), lee y analiza la señal que le envía el registrador magnético.

VII.- CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo se ha comprobado que el diseño y la construcción de las obras marítimas constituye para el ingeniero civil una de las actividades más completas en las que puede desarrollarse profesionalmente. Esto se debe a que dada la enorme gama de conocimientos que es necesario aplicar, permiten que independientemente de cual sea la especialidad del ingeniero, su participación resulte de gran relevancia de tal manera que el funcionamiento de las obras por diseñar y construir sea el adecuado.

Por otra parte y a pesar de que se tienen muchos conocimientos a cerca del funcionamiento del océano, también cabe aclarar que falta mucho por conocerse. Las teorías que en la actualidad son aceptadas están basadas por un lado en consideraciones ideales y por otro, en muchas simplificaciones que se hacen en relación a las variables que intervienen en un fenómeno en particular. Todo esto trae como consecuencia que para un mismo problema y bajo las mismas condiciones naturales, se obtengan soluciones totalmente distintas al aplicar teorías desarrolladas por diferentes autores. Un ejemplo de ello son las fórmulas para cuantificar el transporte litoral o el método de Koulegan para determinar la estabilidad en un canal de acceso.

Por todo lo anterior, los resultados obtenidos al aplicar las teorías referidas sólo deben tomarse como una primera aproximación de los resultados definitivos y con los cuales se trabajará para la elaboración del proyecto final.

Estos resultados definitivos y que más se apegan a la realidad, son los obtenidos a partir de estudios en los modelos marítimos. De ahí su importancia, ya que mediante ellos es posible reproducir el fenómeno casi tal como ocurre en la naturaleza.

Por último y debido al alto costo que representa una obra de ingeniería marítima, es necesario resaltar la importancia que tienen los análisis económicos y financieros, pues como se trató en uno de los capítulos, un diseño óptimo es producto no sólo de considerar factores de tipo natural o físico, sino también de las consideraciones de otro tipo como pueden ser las económicas y financieras.

ANEXO - A

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 180^\circ$

$$\frac{r}{L} = 0 \sim 10$$

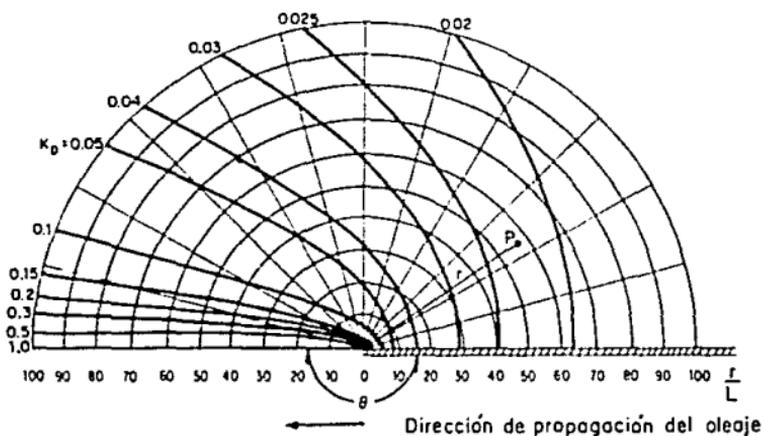
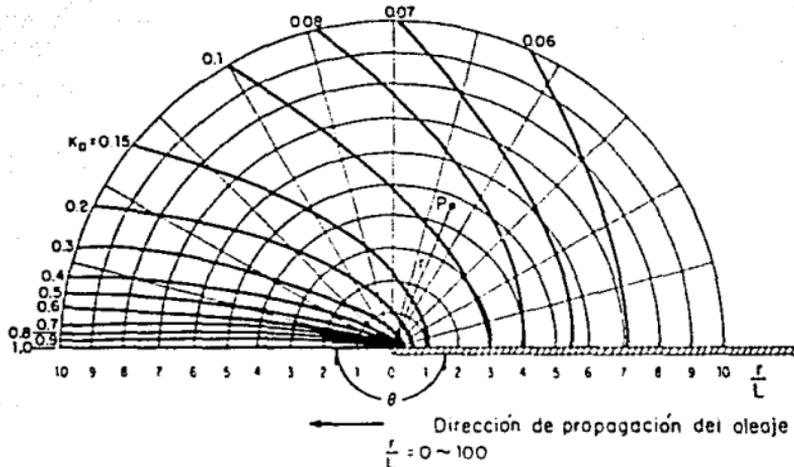


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 180^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 165^\circ$

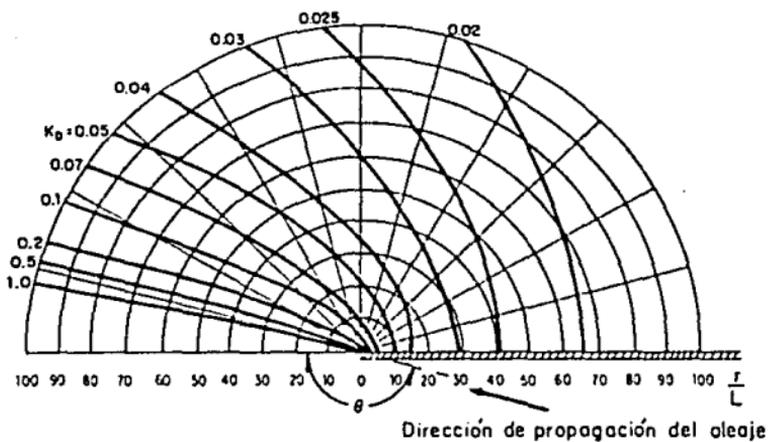
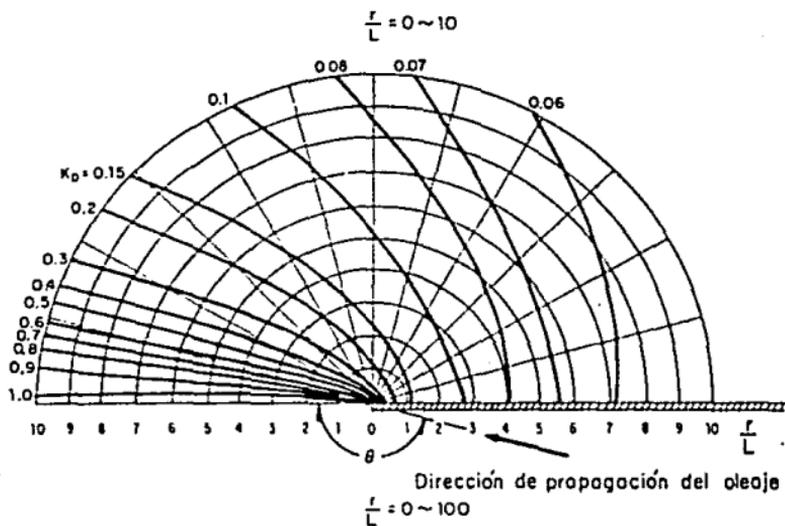


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 165^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 150^\circ$

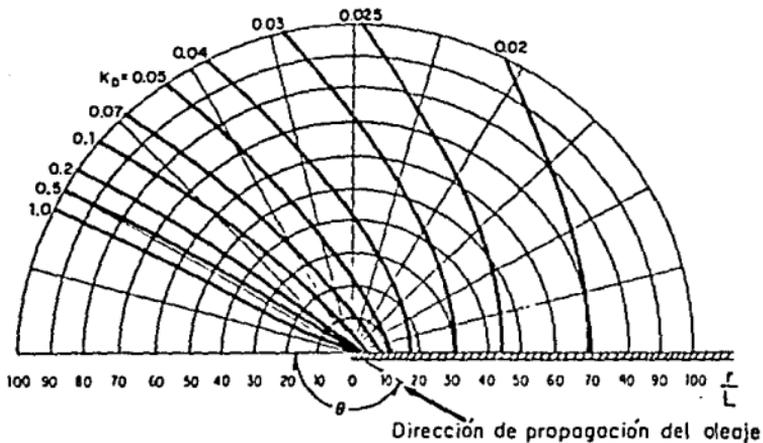
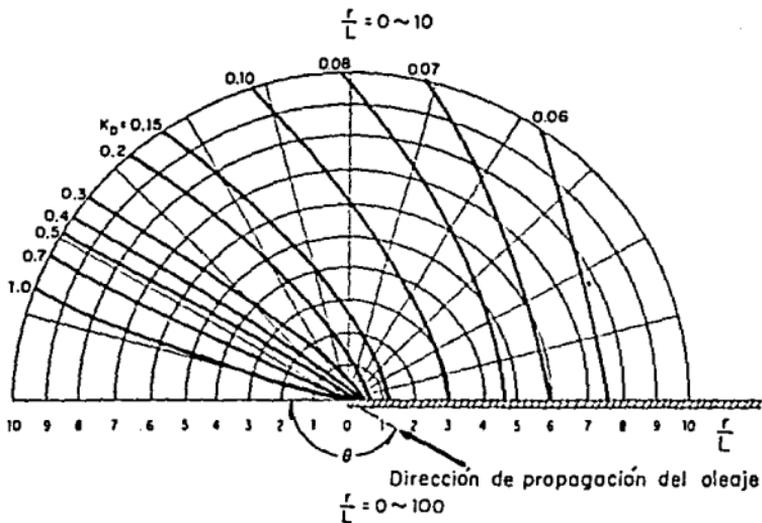
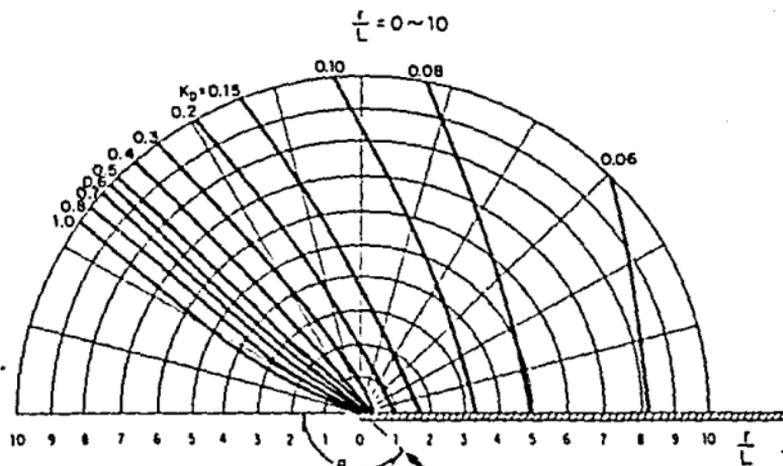
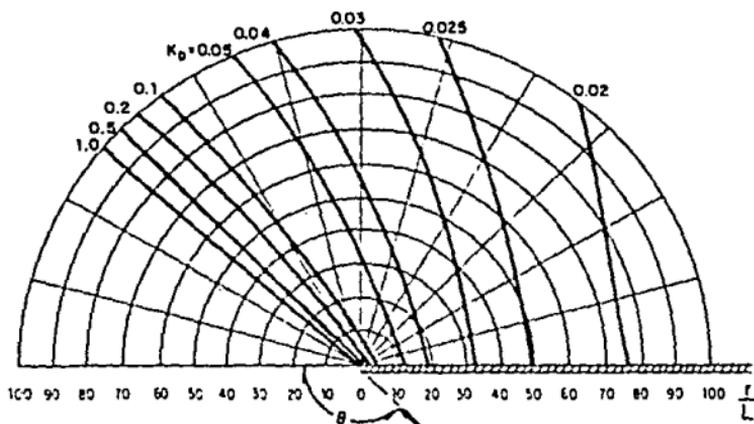


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 150^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 135^\circ$



Dirección de propagación del oleaje
 $\frac{r}{L} = 0 \sim 100$



Dirección de propagación del oleaje

Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 135^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 120^\circ$

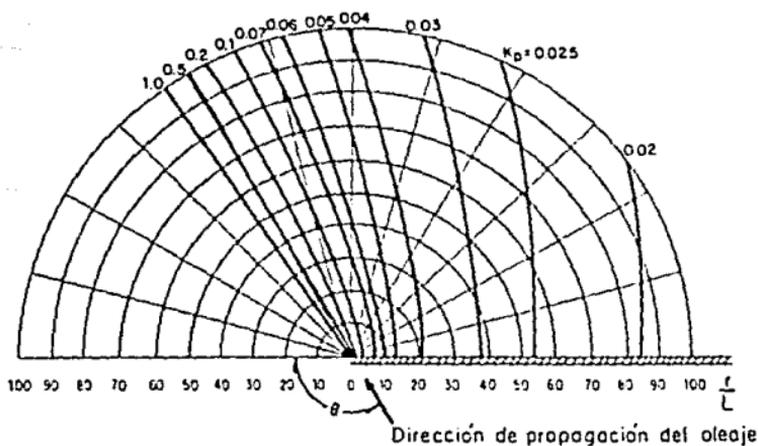
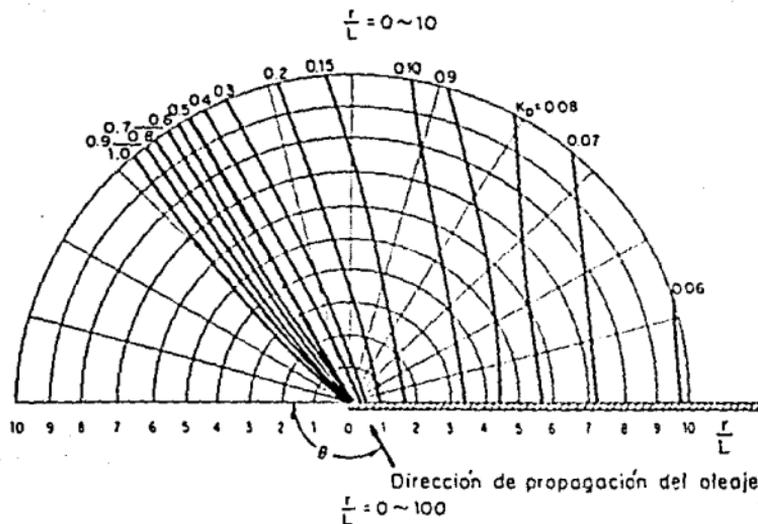


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 120^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 105^\circ$

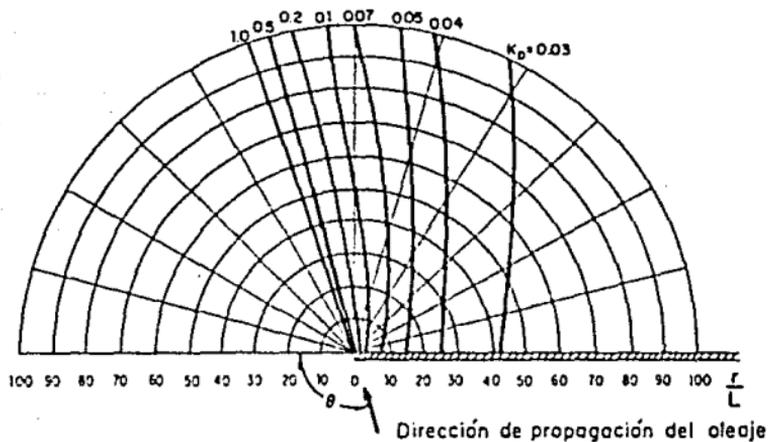
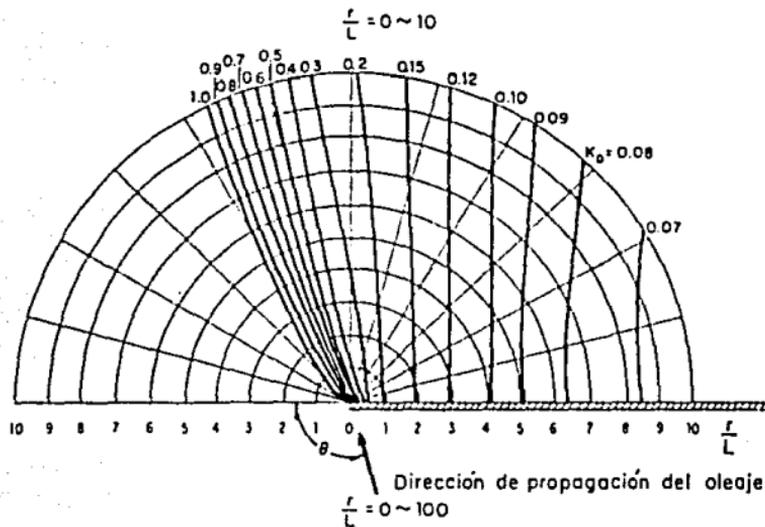


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 105^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 90^\circ$

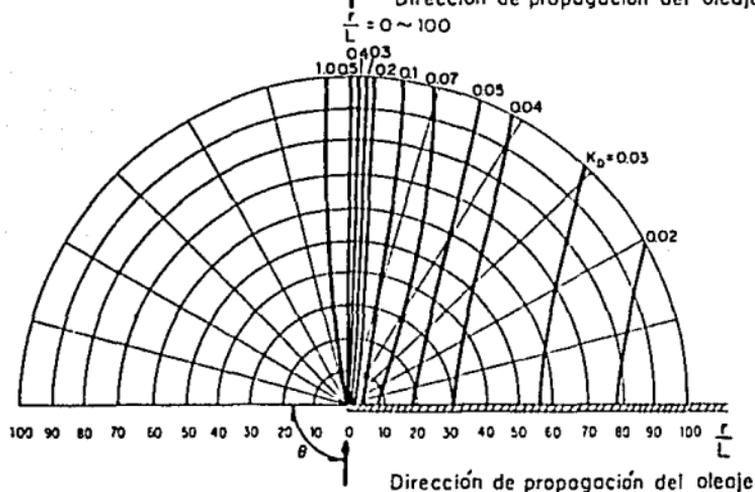
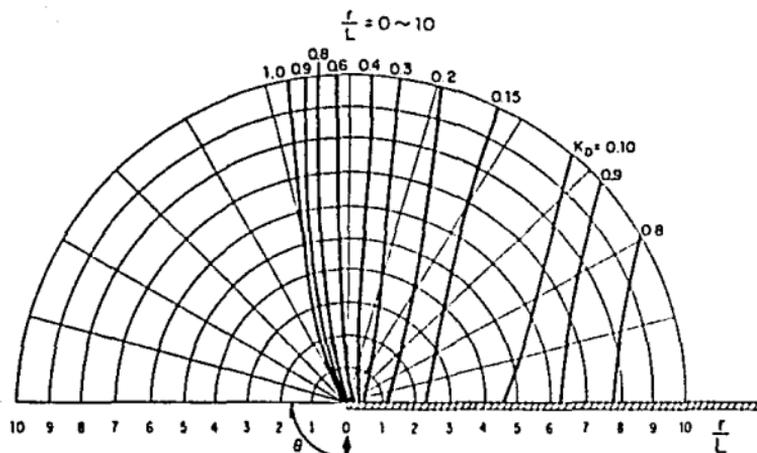


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 90^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 75^\circ$

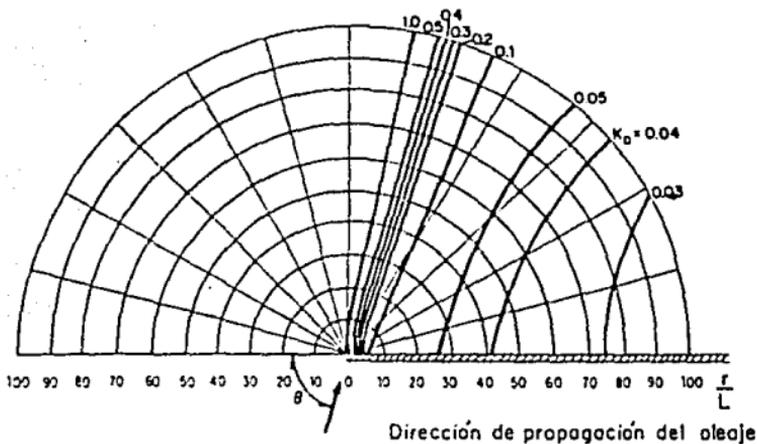
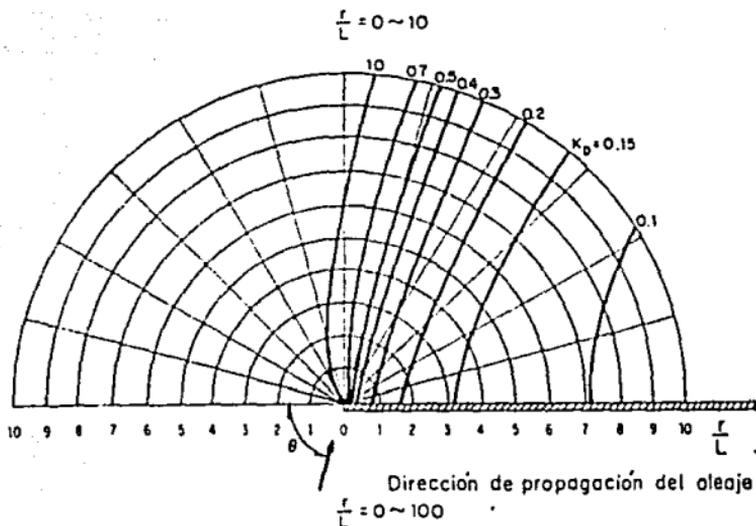


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 75^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 60^\circ$

$$\frac{r}{L} = 0 \sim 10$$

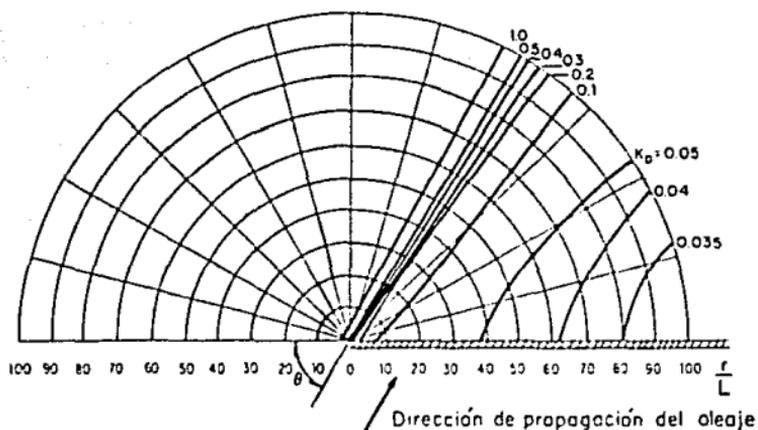
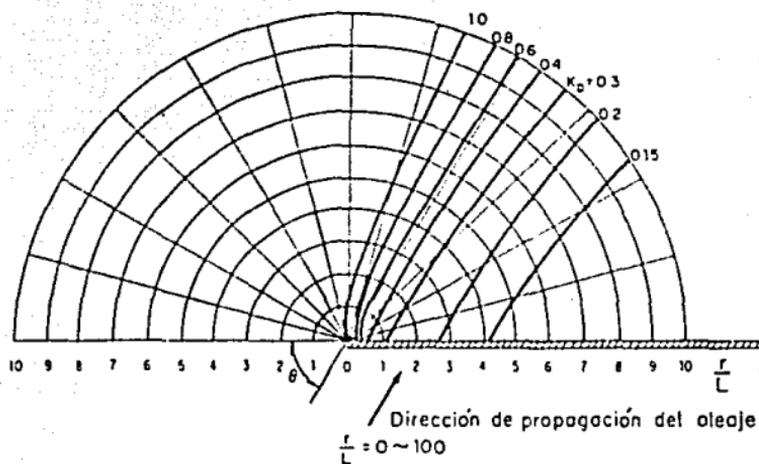


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 60^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 45^\circ$

$$\frac{r}{L} = 0 \sim 10$$

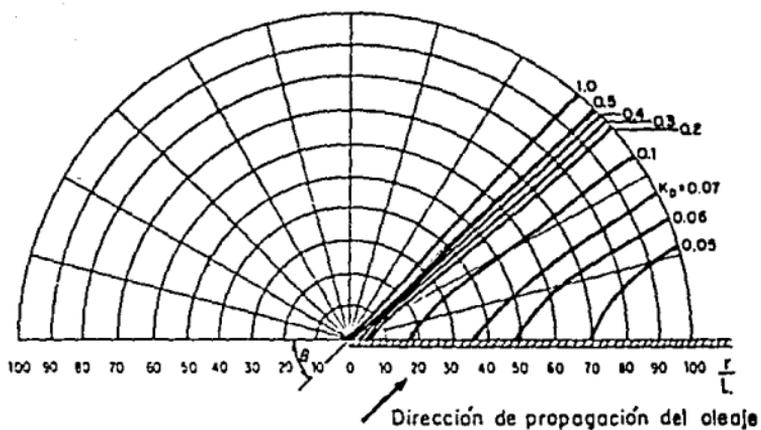
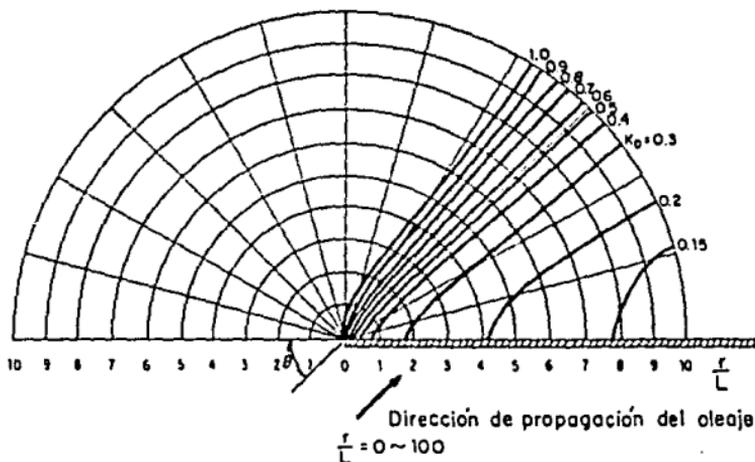


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 45^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 30^\circ$

$$\frac{r}{L} = 0 \sim 10$$

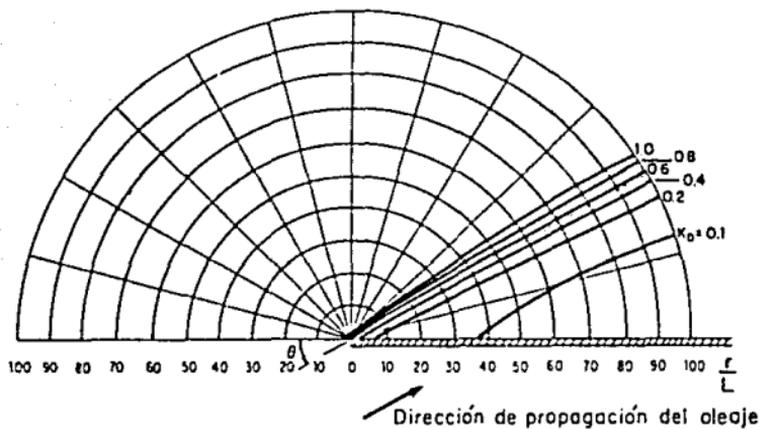
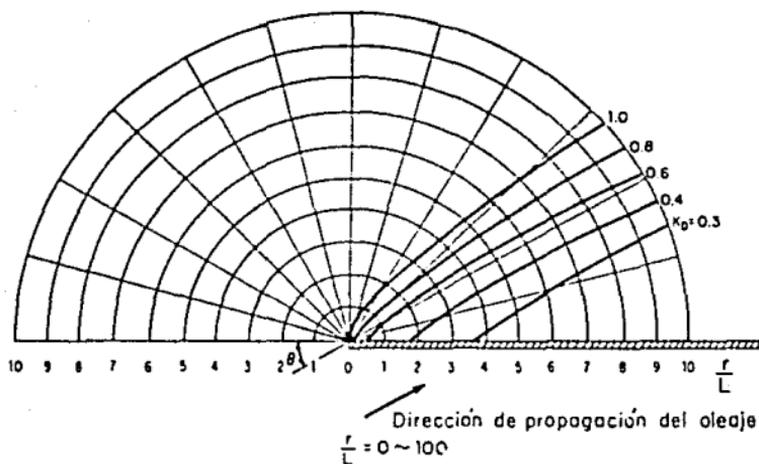


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 30^\circ$

Angulo de llegada del oleaje, $\theta = 15^\circ$

$$\frac{r}{L} = 0 \sim 10$$

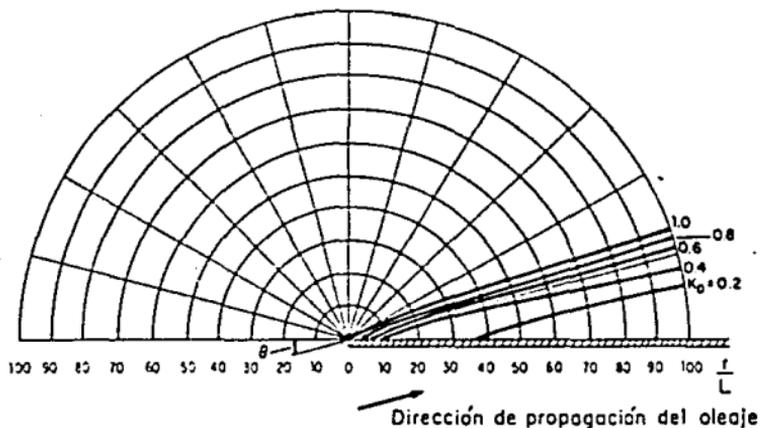
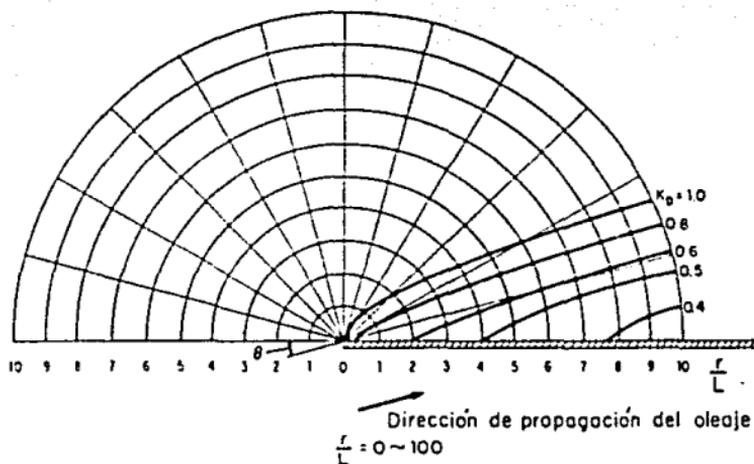


Diagrama de difracción del oleaje al pasar por el extremo de un obstáculo, para $\theta = 15^\circ$

ANEXO - B

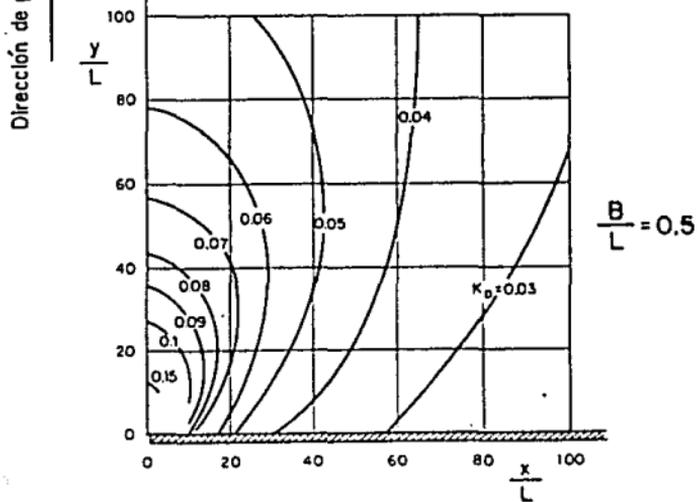
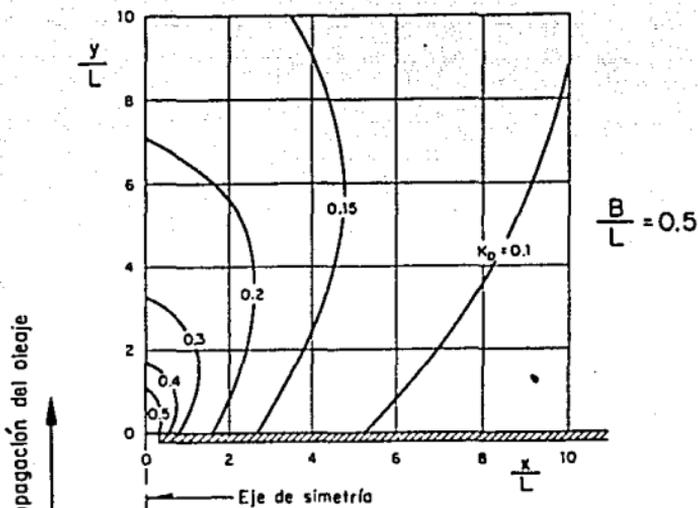
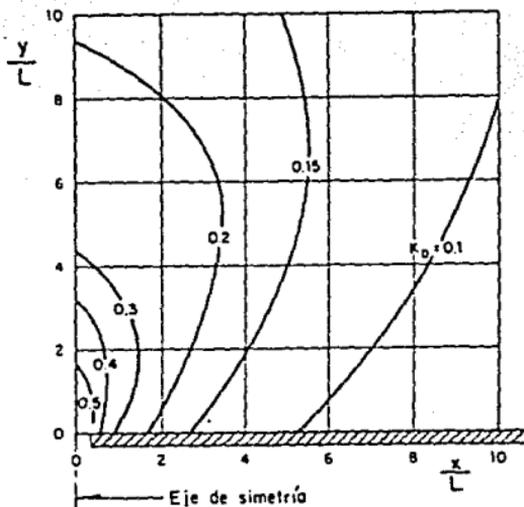
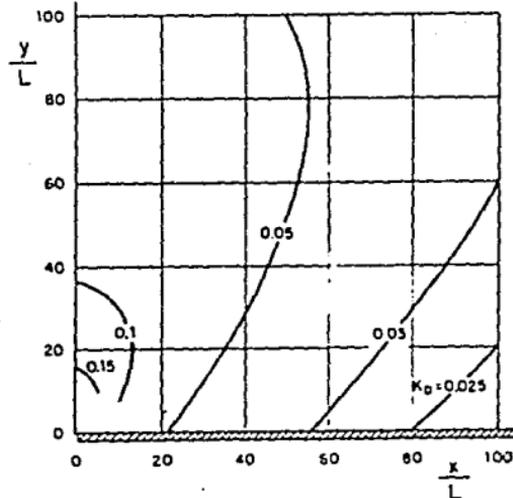


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto, para $(B/L) = 0.5$

Dirección de propagación del oleaje



$$\frac{B}{L} = 0.6$$



$$\frac{B}{L} = 0.6$$

Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 0.6$

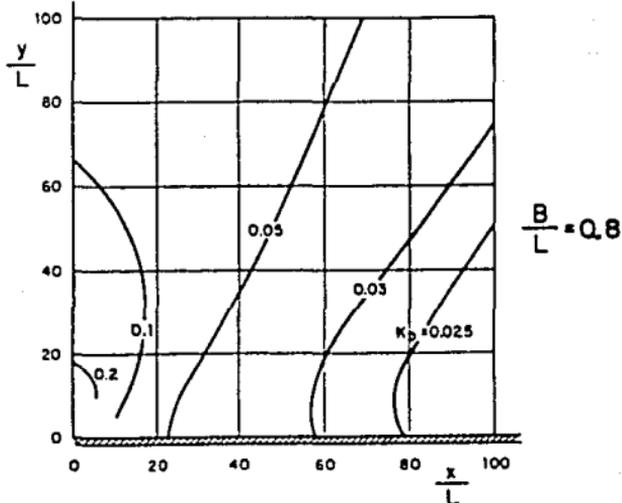
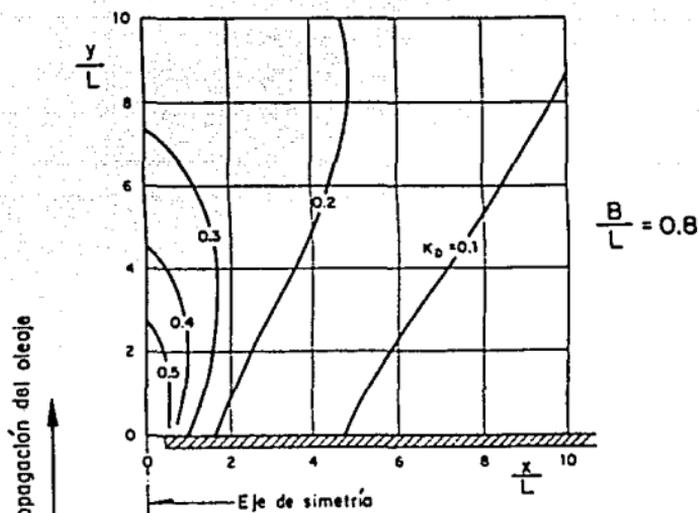


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 0.8$

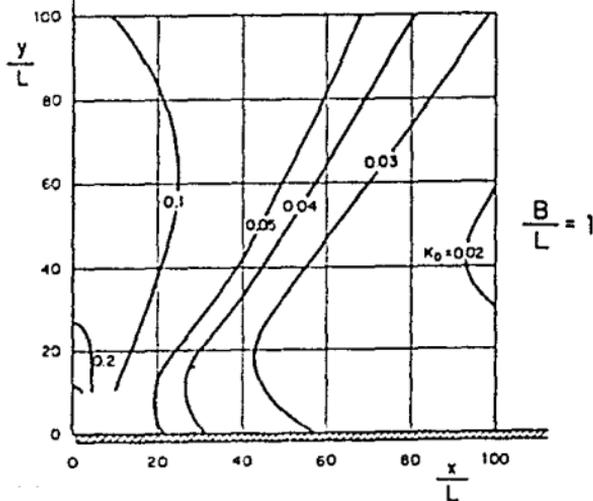
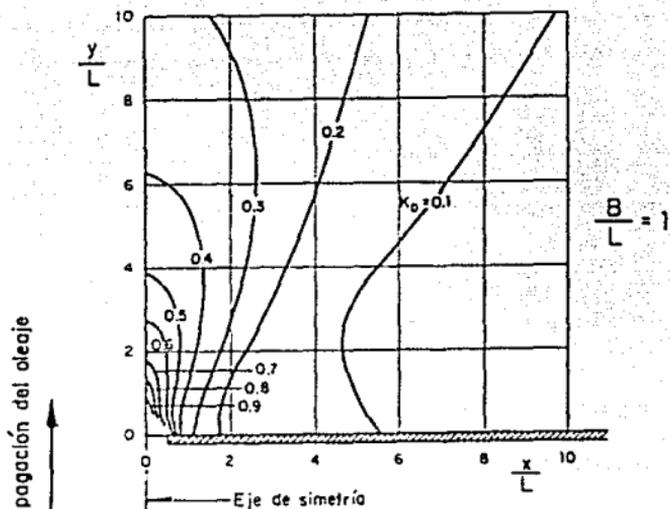


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 1.0$

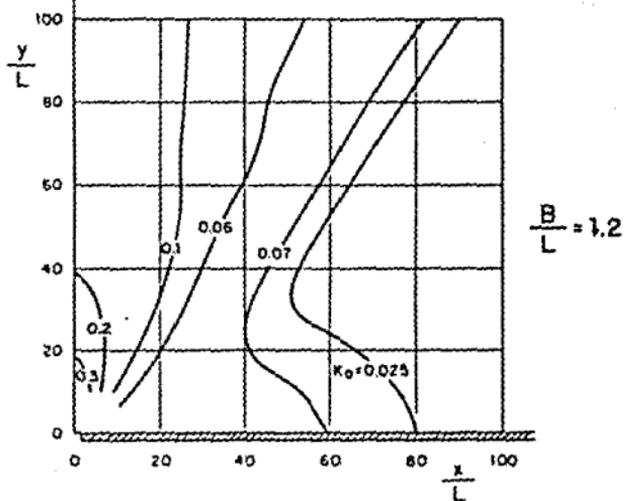
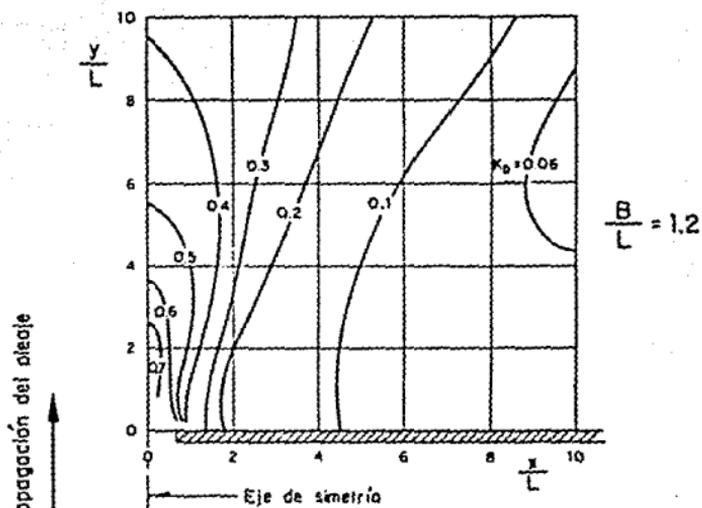


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 1.2$

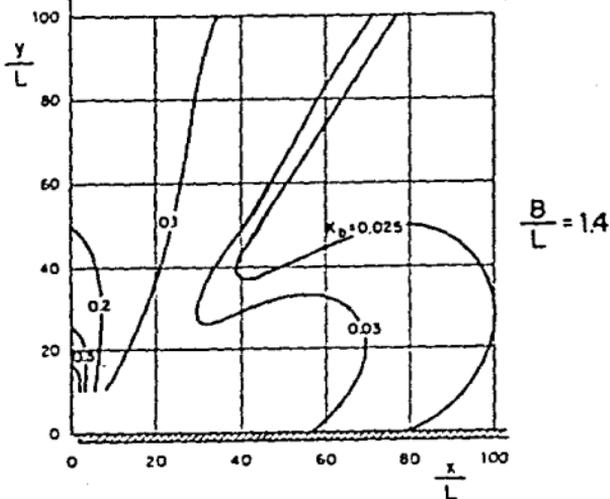
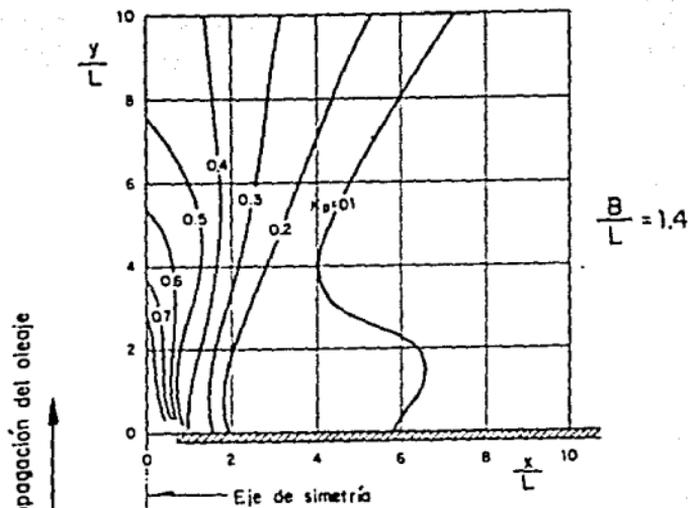


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 1.4$

Dirección de propagación del oleaje

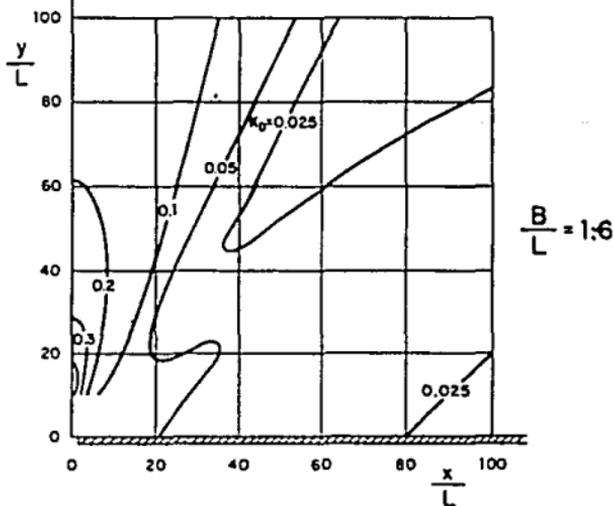
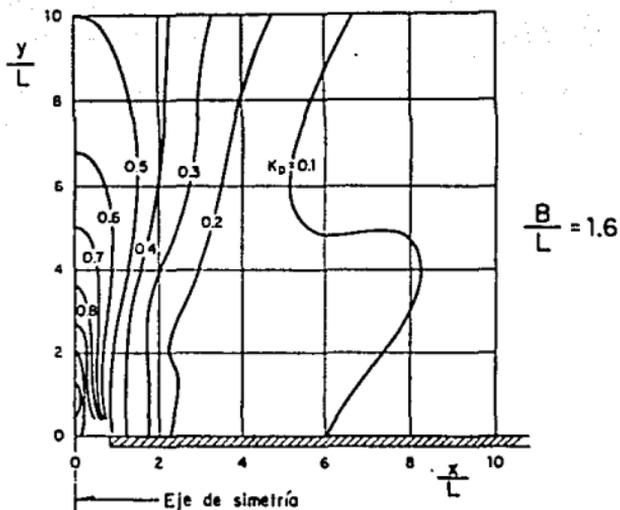
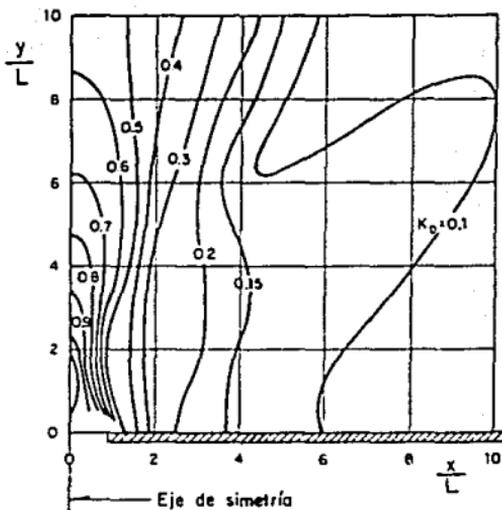
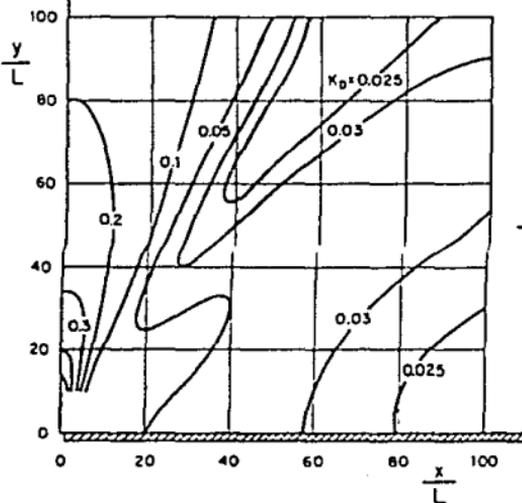


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 1.6$

Dirección de propagación del oleaje



$$\frac{B}{L} = 1.8$$



$$\frac{B}{L} = 1.8$$

Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 1.8$

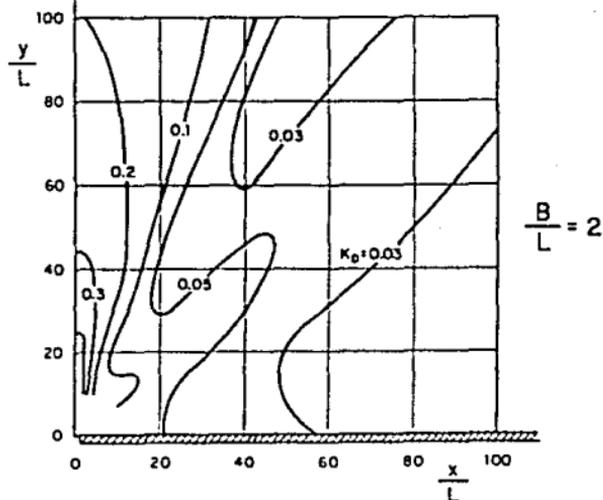
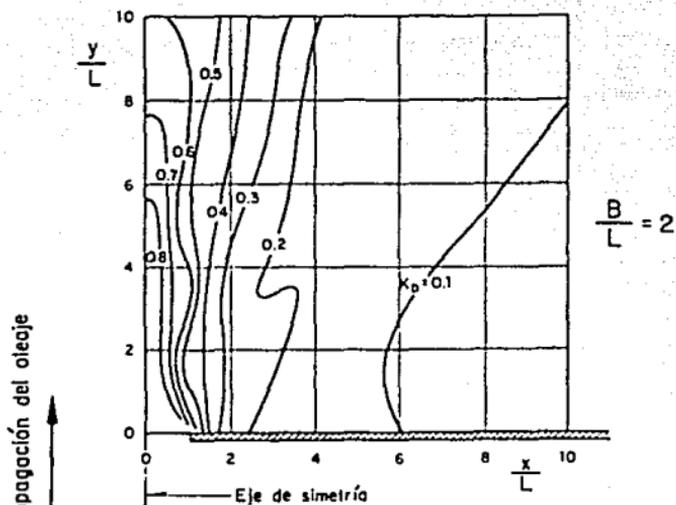


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 2.0$

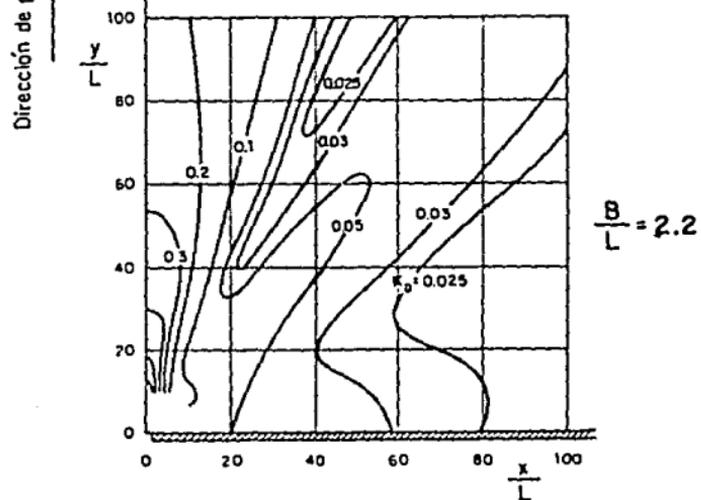
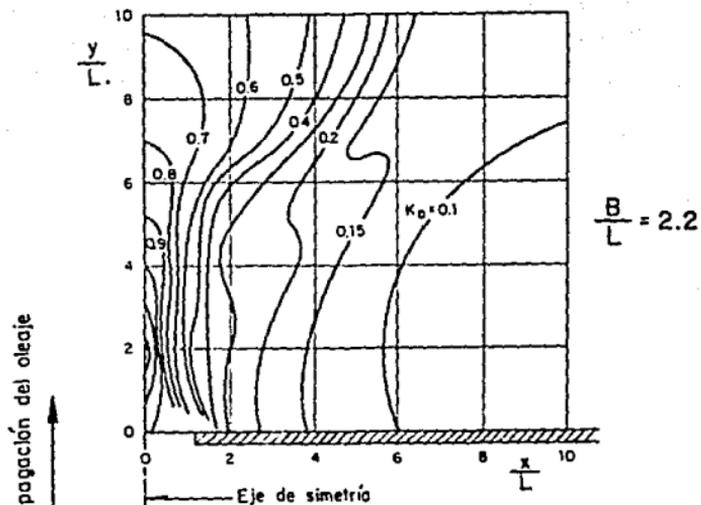


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 2.2$

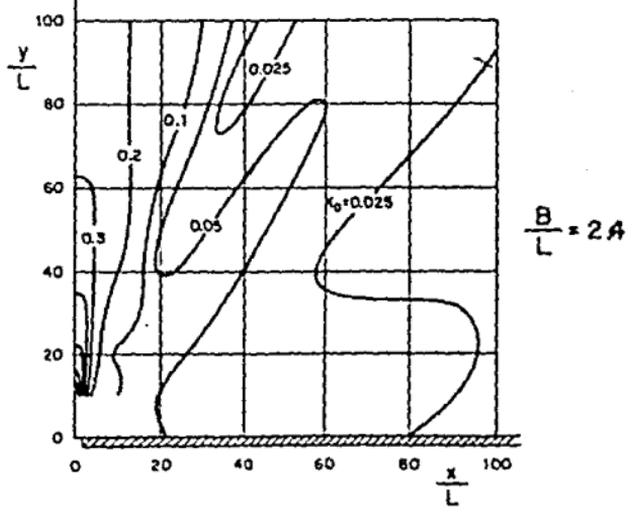
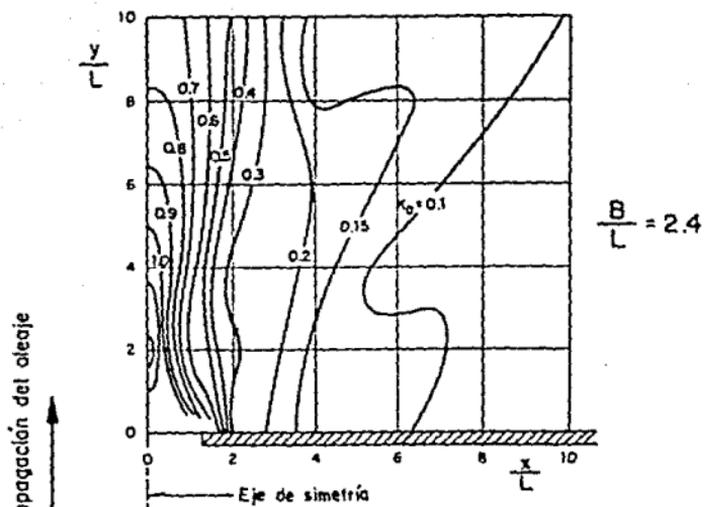


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 2.4$

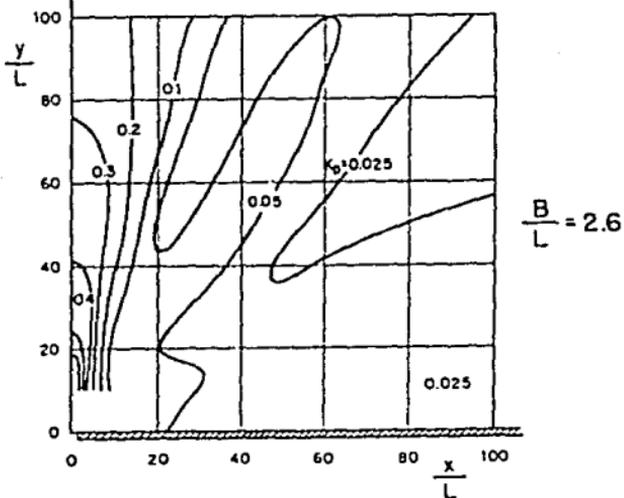
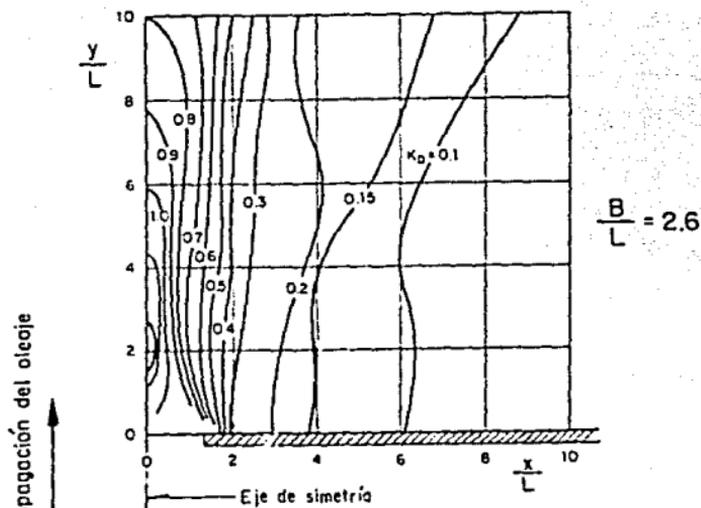


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 2.6$

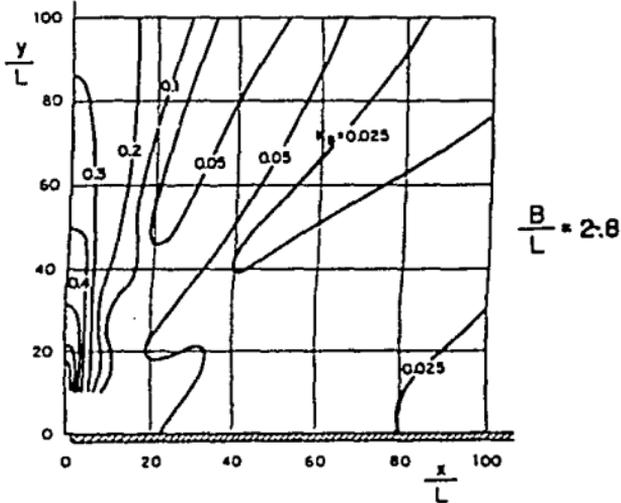
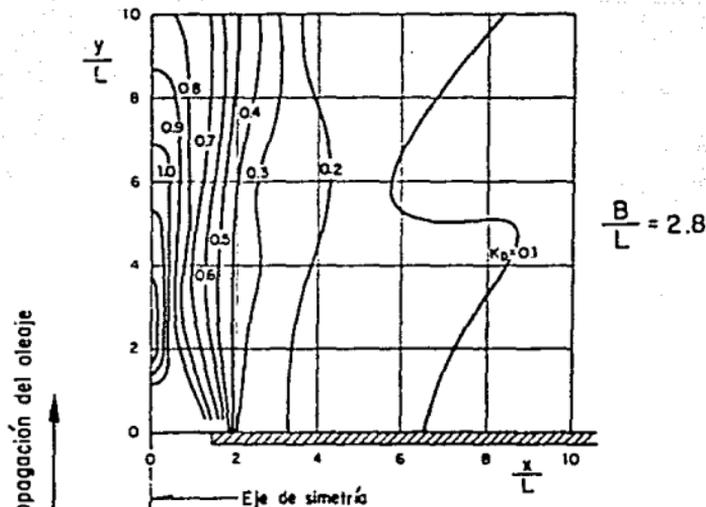


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 2.8$

Dirección de propagación del oleaje

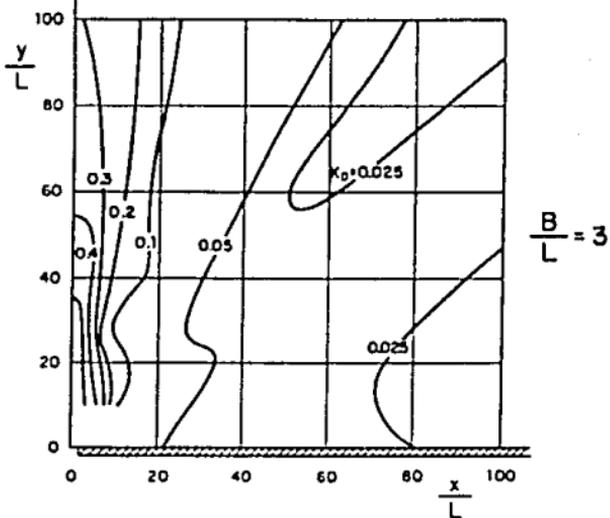
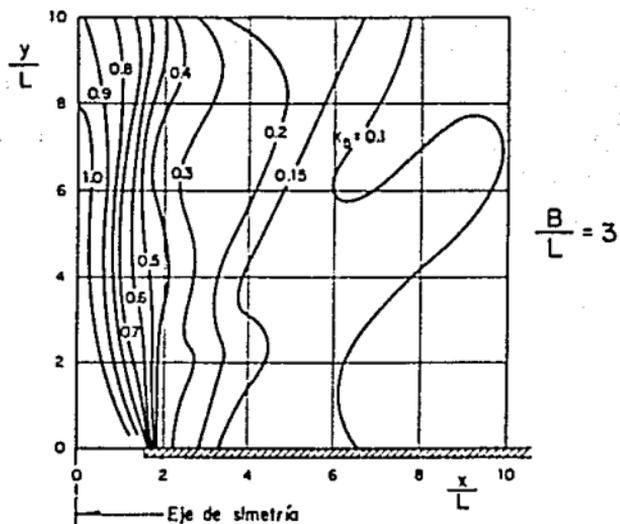
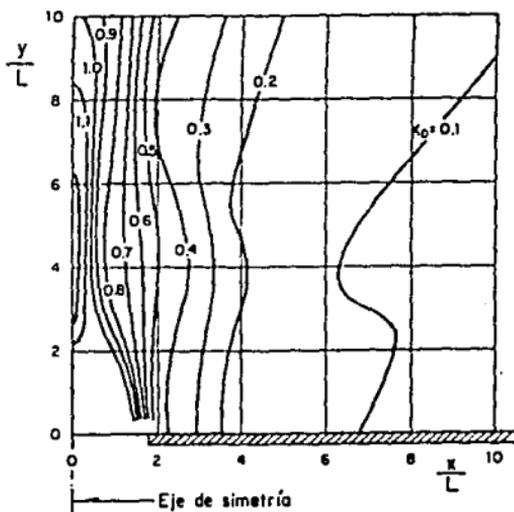
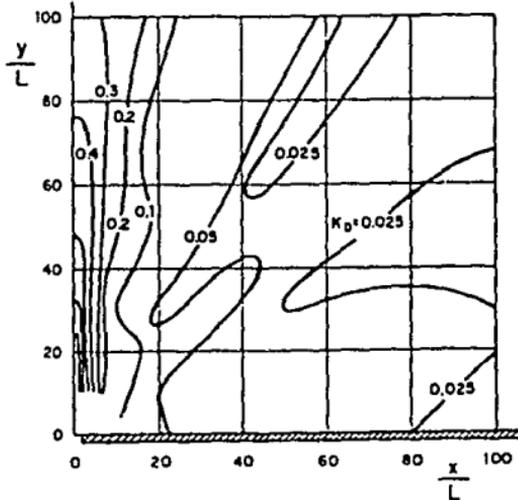


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 3.0$

Dirección de propagación del oleaje



$$\frac{B}{L} = 3.5$$



$$\frac{B}{L} = 3.5$$

Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 3.5$

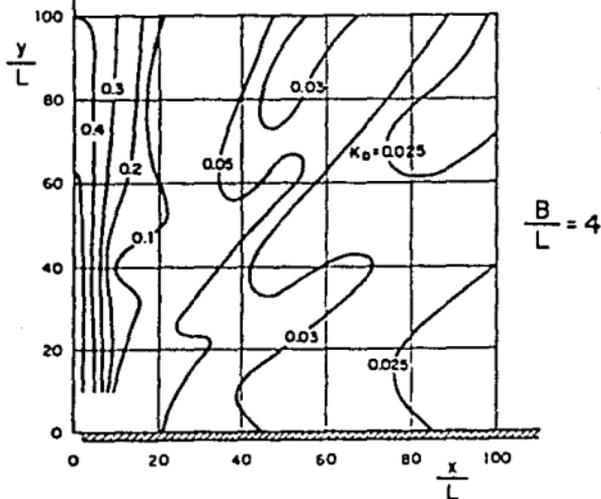
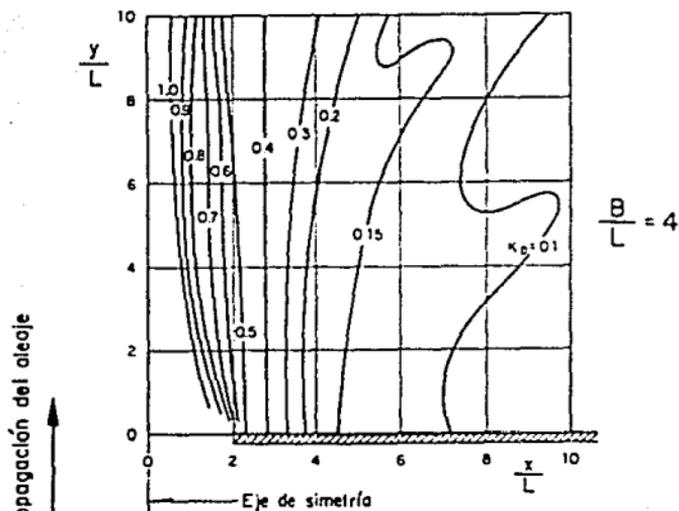


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 4.0$

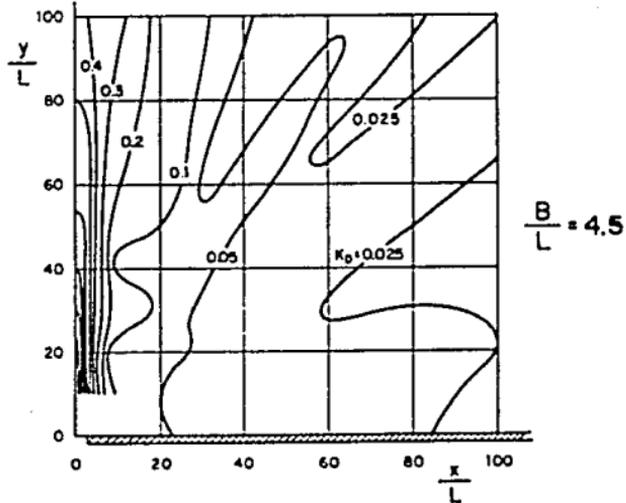
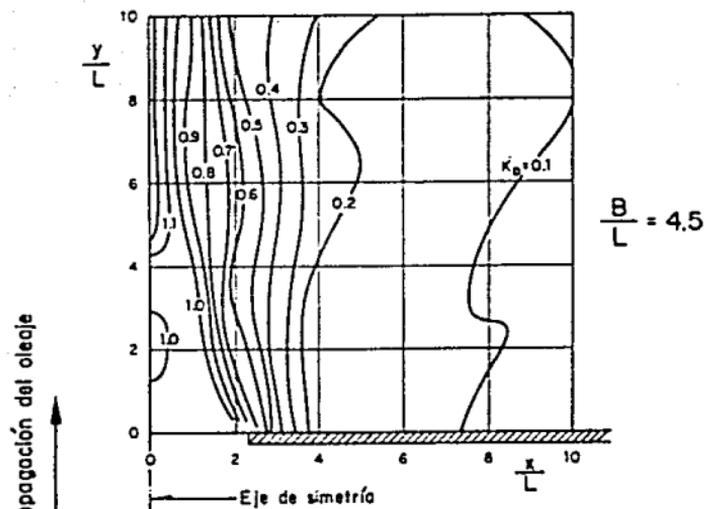


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 4.5$

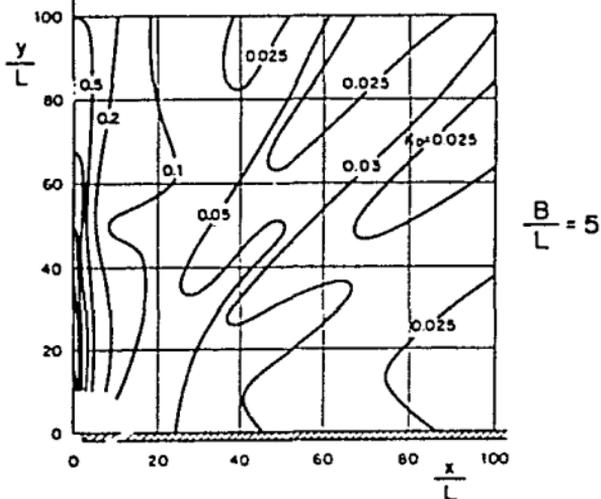
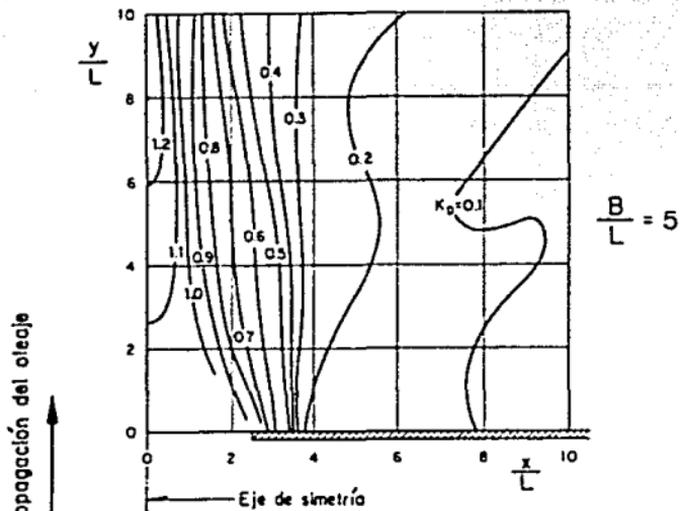


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 5.0$

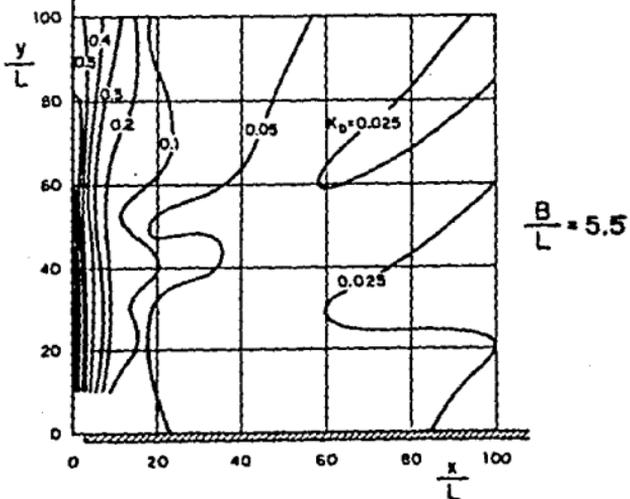
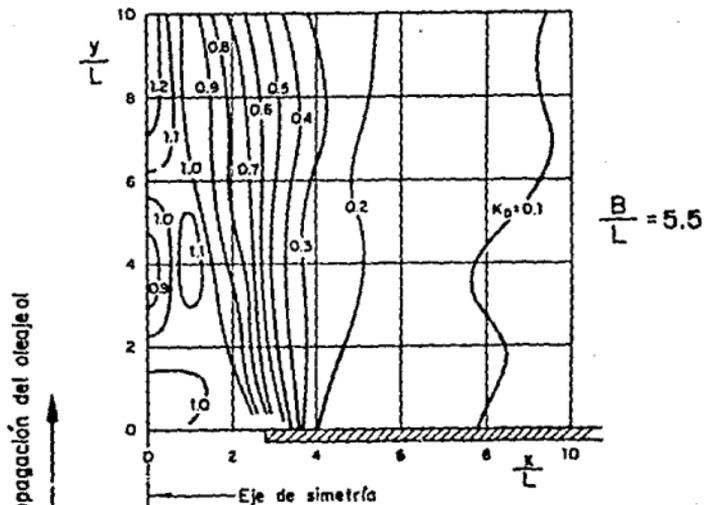


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 5.5$

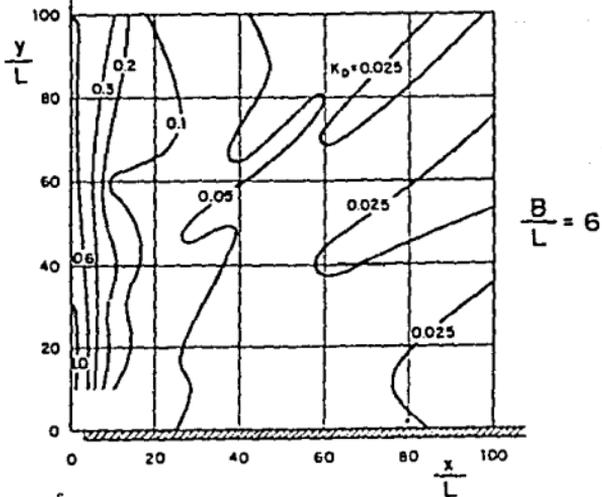
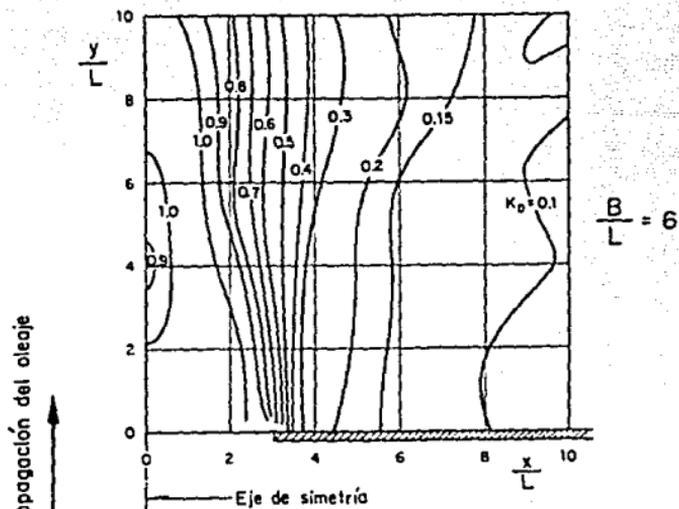


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 6.0$

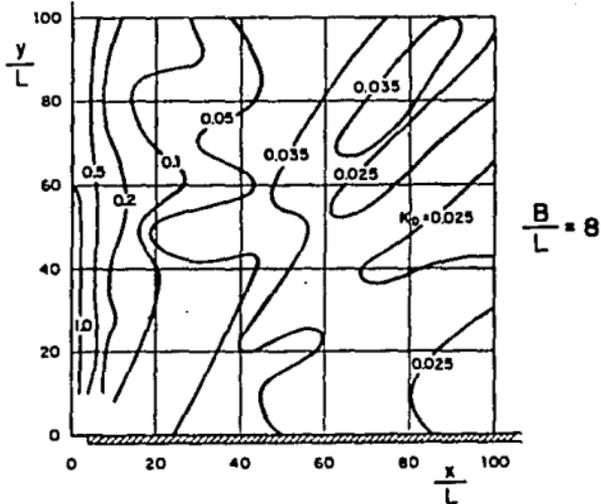
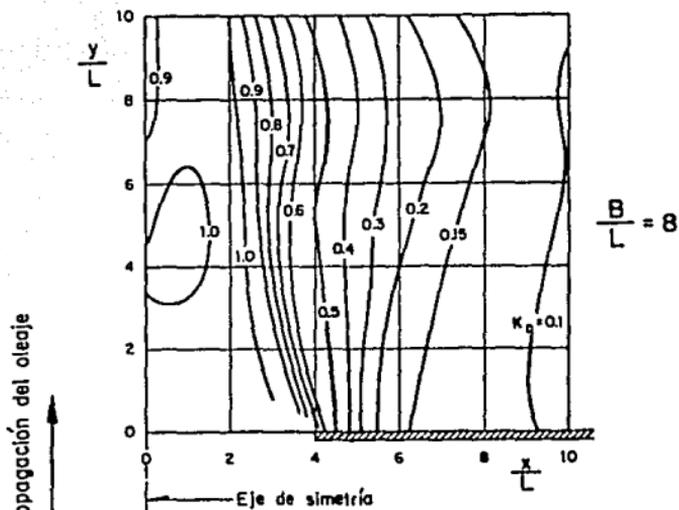


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto,
para $(B/L) = 8.0$

Dirección de propagación del oleaje

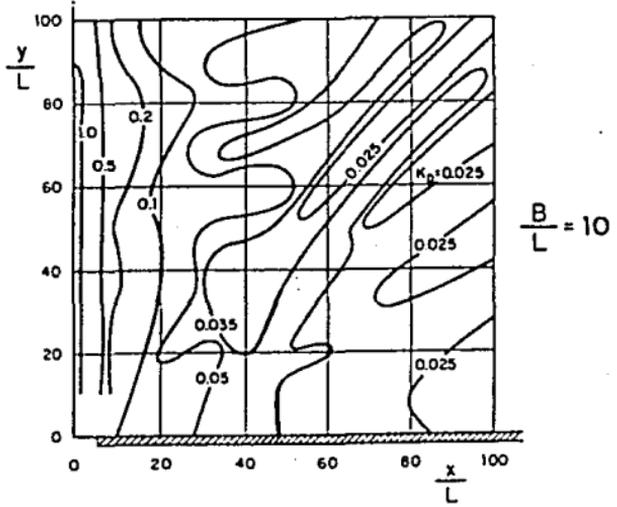
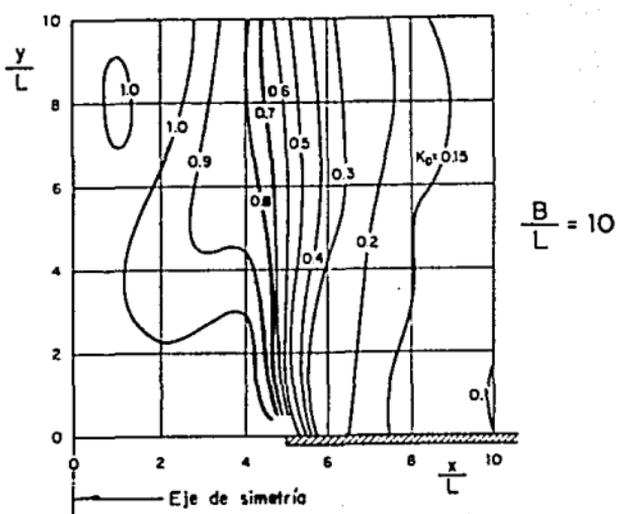


Diagrama de difracción del oleaje al entrar a un recinto, para $(B/L) = 10.0$

A N E X O - C
TABLAS DE FUNCIONES d/Lo

d/L_0	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh 2\pi d/L$	$\sinh 2\pi d/L$	$\cosh 2\pi d/L$	$4\pi d/L$	$\sinh 4\pi d/L$	$\cosh 4\pi d/L$	H/H_0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	
.0001000	.003990	.02507	.02506	.02507	1.0003	.05014	.05016	1.001	4.467
.0002000	.005643	.03546	.03544	.03547	1.0006	.07091	.07097	1.003	3.757
.0003000	.006912	.04343	.04340	.04344	1.0009	.08686	.08697	1.004	3.395
.0004000	.007962	.05015	.05011	.05018	1.0013	.1003	.1005	1.005	3.160
.0005000	.008925	.05608	.05602	.05611	1.0016	.1122	.1124	1.006	2.989
.0006000	.009778	.06144	.06136	.06148	1.0019	.1229	.1232	1.008	2.856
.0007000	.01056	.06637	.06627	.06642	1.0022	.1327	.1331	1.009	2.749
.0008000	.01129	.07096	.07084	.07102	1.0025	.1419	.1424	1.010	2.659
.0009000	.01198	.07527	.07513	.07534	1.0028	.1505	.1511	1.011	2.582
.001000	.01263	.07935	.07918	.07943	1.0032	.1587	.1594	1.013	2.515
.001100	.01325	.08323	.08304	.08333	1.0035	.1665	.1672	1.014	2.456
.001200	.01384	.08694	.08672	.08705	1.0038	.1739	.1748	1.015	2.404
.001300	.01440	.09050	.09026	.09063	1.0041	.1810	.1820	1.016	2.357
.001400	.01495	.09393	.09365	.09407	1.0044	.1879	.1890	1.018	2.314
.001500	.01548	.09723	.09693	.09739	1.0047	.1945	.1957	1.019	2.275
.001600	.01598	.1004	.1001	.1006	1.0051	.2009	.2022	1.020	2.239
.001700	.01648	.1035	.1032	.1037	1.0054	.2071	.2086	1.022	2.205
.001800	.01696	.1066	.1062	.1068	1.0057	.2131	.2147	1.023	2.174
.001900	.01743	.1095	.1091	.1097	1.0060	.2190	.2207	1.024	2.145
.002000	.01788	.1123	.1119	.1125	1.0063	.2247	.2266	1.025	2.119
.002100	.01832	.1151	.1146	.1154	1.0066	.2303	.2323	1.027	2.094
.002200	.01876	.1178	.1173	.1181	1.0069	.2357	.2379	1.028	2.070
.002300	.01918	.1205	.1199	.1208	1.0073	.2410	.2433	1.029	2.047
.002400	.01959	.1231	.1225	.1234	1.0076	.2462	.2487	1.031	2.025
.002500	.02000	.1257	.1250	.1260	1.0079	.2513	.2540	1.032	2.005
.002600	.02040	.1282	.1275	.1285	1.0082	.2563	.2592	1.033	1.986
.002700	.02079	.1306	.1299	.1310	1.0085	.2612	.2642	1.034	1.967
.002800	.02117	.1330	.1323	.1334	1.0089	.2661	.2692	1.036	1.950
.002900	.02155	.1354	.1346	.1358	1.0092	.2708	.2741	1.037	1.933
.003000	.02192	.1377	.1369	.1382	1.0095	.2755	.2790	1.038	1.917
.003100	.02228	.1400	.1391	.1405	1.0098	.2800	.2837	1.040	1.902
.003200	.02264	.1423	.1413	.1427	1.0101	.2845	.2884	1.041	1.887
.003300	.02300	.1445	.1435	.1449	1.0104	.2890	.2930	1.042	1.873
.003400	.02335	.1467	.1456	.1472	1.0108	.2934	.2976	1.043	1.860
.003500	.02369	.1488	.1477	.1494	1.0111	.2977	.3021	1.045	1.847
.003600	.02403	.1510	.1498	.1515	1.0114	.3020	.3065	1.046	1.834
.003700	.02436	.1531	.1519	.1537	1.0117	.3061	.3109	1.047	1.822
.003800	.02469	.1551	.1539	.1558	1.0121	.3103	.3153	1.049	1.810
.003900	.02502	.1572	.1559	.1579	1.0124	.3144	.3196	1.050	1.799
.004000	.02534	.1592	.1579	.1599	1.0127	.3184	.3238	1.051	1.788
.004100	.02566	.1612	.1598	.1619	1.0130	.3224	.3280	1.052	1.777
.004200	.02597	.1632	.1617	.1639	1.0133	.3263	.3322	1.054	1.767
.004300	.02628	.1651	.1636	.1659	1.0137	.3302	.3362	1.055	1.756
.004400	.02659	.1671	.1655	.1678	1.0140	.3341	.3403	1.056	1.746

d/L_0	d/L	$2ed/L$	$\tanh 2ed/L$	$\sinh 2ed/L$	$\cosh 2ed/L$	$4ed/L$	$\sinh 4ed/L$	$\cosh 4ed/L$	H/H_0
.004500	.02689	.1690	.1674	.1698	1.0143	.3380	.3444	1.058	1.737
.004600	.02719	.1708	.1692	.1717	1.0146	.3417	.3483	1.059	1.727
.004700	.02749	.1727	.1710	.1736	1.0149	.3454	.3523	1.060	1.718
.004800	.02778	.1745	.1728	.1754	1.0153	.3491	.3562	1.062	1.709
.004900	.02807	.1764	.1746	.1773	1.0156	.3527	.3601	1.063	1.701
.005000	.02836	.1782	.1764	.1791	1.0159	.3564	.3640	1.064	1.692
.005100	.02864	.1800	.1781	.1809	1.0162	.3599	.3678	1.066	1.684
.005200	.02893	.1818	.1798	.1827	1.0166	.3635	.3715	1.067	1.676
.005300	.02921	.1835	.1815	.1845	1.0169	.3670	.3753	1.068	1.669
.005400	.02948	.1852	.1832	.1863	1.0172	.3705	.3790	1.069	1.662
.005500	.02976	.1870	.1848	.1880	1.0175	.3739	.3827	1.071	1.654
.005600	.03003	.1887	.1865	.1898	1.0178	.3774	.3864	1.072	1.647
.005700	.03030	.1904	.1881	.1915	1.0182	.3808	.3900	1.073	1.640
.005800	.03057	.1921	.1897	.1932	1.0185	.3841	.3937	1.075	1.633
.005900	.03083	.1937	.1913	.1949	1.0188	.3875	.3972	1.076	1.626
.006000	.03110	.1954	.1929	.1967	1.0192	.3908	.4008	1.077	1.620
.006100	.03136	.1970	.1945	.1983	1.0195	.3941	.4044	1.079	1.614
.006200	.03162	.1987	.1961	.2000	1.0198	.3973	.4079	1.080	1.607
.006300	.03188	.2003	.1976	.2016	1.0201	.4006	.4114	1.081	1.601
.006400	.03213	.2019	.1992	.2033	1.0205	.4038	.4148	1.083	1.595
.006500	.03238	.2035	.2007	.2049	1.0208	.4070	.4183	1.084	1.589
.006600	.03264	.2051	.2022	.2065	1.0211	.4101	.4217	1.085	1.583
.006700	.03289	.2066	.2037	.2081	1.0214	.4133	.4251	1.087	1.578
.006800	.03313	.2082	.2052	.2097	1.0217	.4164	.4285	1.088	1.572
.006900	.03338	.2097	.2067	.2113	1.0221	.4195	.4319	1.089	1.567
.007000	.03362	.2113	.2082	.2128	1.0224	.4225	.4352	1.091	1.561
.007100	.03387	.2128	.2096	.2144	1.0227	.4256	.4386	1.092	1.556
.007200	.03411	.2143	.2111	.2160	1.0231	.4286	.4419	1.093	1.551
.007300	.03435	.2158	.2125	.2175	1.0234	.4316	.4452	1.095	1.546
.007400	.03459	.2173	.2139	.2190	1.0237	.4346	.4484	1.096	1.541
.007500	.03482	.2188	.2154	.2205	1.0240	.4376	.4517	1.097	1.536
.007600	.03506	.2203	.2168	.2221	1.0244	.4406	.4549	1.099	1.531
.007700	.03529	.2218	.2182	.2236	1.0247	.4435	.4582	1.100	1.526
.007800	.03552	.2232	.2196	.2251	1.0250	.4464	.4614	1.101	1.521
.007900	.03576	.2247	.2209	.2265	1.0253	.4493	.4646	1.103	1.517
.008000	.03598	.2261	.2223	.2280	1.0257	.4522	.4678	1.104	1.512
.008100	.03621	.2275	.2237	.2295	1.0260	.4551	.4709	1.105	1.508
.008200	.03644	.2290	.2250	.2310	1.0263	.4579	.4741	1.107	1.503
.008300	.03666	.2304	.2264	.2324	1.0266	.4607	.4772	1.108	1.499
.008400	.03689	.2318	.2277	.2338	1.0270	.4636	.4803	1.109	1.495
.008500	.03711	.2332	.2290	.2353	1.0273	.4664	.4834	1.111	1.491
.008600	.03733	.2346	.2303	.2367	1.0276	.4691	.4865	1.112	1.487
.008700	.03755	.2360	.2317	.2381	1.0280	.4719	.4896	1.113	1.482
.008800	.03777	.2373	.2330	.2396	1.0283	.4747	.4927	1.115	1.478
.008900	.03799	.2387	.2343	.2410	1.0286	.4774	.4957	1.116	1.474
.009000	.03821	.2401	.2356	.2424	1.0290	.4801	.4988	1.118	1.471
.009100	.03842	.2414	.2368	.2438	1.0293	.4828	.5018	1.119	1.467
.009200	.03864	.2428	.2381	.2452	1.0296	.4855	.5049	1.120	1.463
.009300	.03885	.2441	.2394	.2465	1.0299	.4882	.5079	1.122	1.459
.009400	.03906	.2453	.2407	.2479	1.0303	.4909	.5109	1.123	1.456
.009500	.03928	.2468	.2419	.2493	1.0306	.4936	.5138	1.124	1.452
.009600	.03949	.2481	.2431	.2507	1.0309	.4962	.5168	1.126	1.448
.009700	.03970	.2494	.2444	.2520	1.0313	.4988	.5198	1.127	1.445
.009800	.03990	.2507	.2456	.2534	1.0316	.5014	.5227	1.128	1.442
.009900	.04011	.2520	.2468	.2547	1.0319	.5040	.5257	1.130	1.438

x/L	d/L	$2ed/L$	\sinh $2ed/L$	\sinh $2ed/L$	\cosh $2ed/L$	$4ed/L$	\sinh $4ed/L$	\cosh $4ed/L$	H/H_0
0.1000	0.4032	.2333	2.450	2.560	1.0322	.5066	5.286	1.131	1.435
0.1100	0.4233	.2660	2.591	2.691	1.0356	.5319	5.574	1.145	1.403
0.1200	0.4426	.2781	2.711	2.817	1.0389	.5562	5.853	1.159	1.375
0.1300	0.4612	.2898	2.820	2.938	1.0423	.5795	6.123	1.173	1.350
0.1400	0.4791	.3010	2.924	3.056	1.0456	.6020	6.391	1.187	1.327
0.1500	0.4964	.3119	3.022	3.170	1.0490	.6238	6.651	1.201	1.307
0.1600	0.5132	.3225	3.117	3.281	1.0524	.6450	6.906	1.215	1.288
0.1700	0.5296	.3328	3.209	3.389	1.0559	.6655	7.158	1.230	1.271
0.1800	0.5455	.3428	3.298	3.495	1.0593	.6856	7.405	1.244	1.255
0.1900	0.5611	.3525	3.386	3.599	1.0628	.7051	7.650	1.259	1.240
0.2000	0.5763	.3621	3.470	3.701	1.0663	.7242	7.891	1.274	1.226
0.2100	0.5912	.3714	3.552	3.800	1.0698	.7429	8.131	1.289	1.211
0.2200	0.6057	.3806	3.632	3.898	1.0733	.7612	8.368	1.304	1.201
0.2300	0.6200	.3896	3.710	3.995	1.0768	.7791	8.603	1.319	1.189
0.2400	0.6340	.3984	3.786	4.090	1.0804	.7967	8.837	1.335	1.178
0.2500	0.6478	.4070	3.860	4.184	1.0840	.8140	9.069	1.350	1.168
0.2600	0.6613	.4155	3.932	4.276	1.0876	.8310	9.310	1.366	1.158
0.2700	0.6747	.4239	4.002	4.367	1.0912	.8478	9.530	1.381	1.150
0.2800	0.6878	.4322	4.071	4.457	1.0949	.8643	9.760	1.397	1.141
0.2900	0.7007	.4403	4.138	4.546	1.0985	.8805	9.988	1.413	1.133
0.3000	0.7135	.4483	4.205	4.634	1.1021	.8966	1.022	1.430	1.125
0.3100	0.7260	.4562	4.269	4.721	1.1059	.9124	1.044	1.446	1.118
0.3200	0.7385	.4640	4.333	4.808	1.1096	.9280	1.067	1.462	1.113
0.3300	0.7507	.4717	4.395	4.894	1.1133	.9434	1.090	1.479	1.104
0.3400	0.7630	.4794	4.457	4.980	1.1171	.9588	1.113	1.496	1.098
0.3500	0.7748	.4868	4.517	5.064	1.1209	.9737	1.135	1.513	1.092
0.3600	0.7867	.4943	4.577	5.147	1.1247	.9886	1.158	1.530	1.086
0.3700	0.7984	.5017	4.635	5.230	1.1285	1.0033	1.180	1.547	1.080
0.3800	0.8100	.5090	4.691	5.312	1.1324	1.018	1.203	1.564	1.075
0.3900	0.8215	.5162	4.747	5.394	1.1362	1.032	1.226	1.582	1.069
0.4000	0.8329	.5233	4.802	5.475	1.1401	1.047	1.248	1.600	1.064
0.4100	0.8442	.5304	4.857	5.556	1.1440	1.061	1.271	1.617	1.059
0.4200	0.8553	.5374	4.911	5.637	1.1479	1.075	1.294	1.636	1.055
0.4300	0.8664	.5444	4.964	5.717	1.1518	1.089	1.317	1.654	1.050
0.4400	0.8774	.5513	5.015	5.796	1.1558	1.103	1.340	1.672	1.046
0.4500	0.8883	.5581	5.066	5.876	1.1599	1.116	1.363	1.691	1.042
0.4600	0.8991	.5649	5.116	5.954	1.1639	1.130	1.386	1.709	1.038
0.4700	0.9098	.5717	5.166	6.033	1.1679	1.143	1.409	1.728	1.034
0.4800	0.9205	.5784	5.215	6.111	1.1720	1.157	1.433	1.747	1.030
0.4900	0.9311	.5850	5.263	6.189	1.1760	1.170	1.456	1.766	1.026
0.5000	0.9416	.5916	5.310	6.267	1.1802	1.183	1.479	1.786	1.023
0.5100	0.9520	.5981	5.357	6.344	1.1843	1.196	1.503	1.805	1.019
0.5200	0.9623	.6046	5.403	6.421	1.1884	1.209	1.526	1.825	1.016
0.5300	0.9726	.6111	5.449	6.499	1.1926	1.222	1.550	1.845	1.013
0.5400	0.9829	.6176	5.494	6.575	1.1968	1.235	1.574	1.865	1.010
0.5500	0.9930	.6239	5.538	6.652	1.2011	1.248	1.598	1.885	1.007
0.5600	1.0031	.6303	5.582	6.729	1.2053	1.261	1.622	1.906	1.004
0.5700	1.013	.6366	5.626	6.805	1.2096	1.273	1.646	1.926	1.001
0.5800	1.023	.6428	5.668	6.880	1.2138	1.286	1.670	1.947	9985
0.5900	1.033	.6491	5.711	6.956	1.2181	1.298	1.693	1.968	9958
0.6000	1.043	.6553	5.753	7.033	1.2225	1.311	1.719	1.989	9932
0.6100	1.053	.6616	5.794	7.110	1.2270	1.323	1.744	2.011	9907
0.6200	1.063	.6678	5.834	7.187	1.2315	1.336	1.770	2.033	9883
0.6300	1.073	.6739	5.874	7.266	1.2361	1.348	1.795	2.055	9860
0.6400	1.082	.6799	5.914	7.345	1.2407	1.360	1.819	2.076	9837

4/L	4/L	2nd L	1st h 2nd L	4th 2nd L	cash 2nd L	4rd L	5th 4rd L	cash 4rd L	H.H.
.06500	.1092	.6860	5934	7411	1,2447	1,172	1,545	2,098	9315
.06600	.1101	.6920	5993	7486	1,2492	1,384	1,870	2,121	9393
.06700	.1111	.6981	6031	7561	1,2537	1,396	1,856	2,144	9471
.06800	.1120	.7037	6069	7633	1,2580	1,408	1,921	2,166	9552
.06900	.1130	.7099	6106	7711	1,2628	1,420	1,948	2,189	9633
.07000	.1139	.7157	6144	7783	1,2672	1,432	1,974	2,213	9713
.07100	.1149	.7219	6181	7863	1,2721	1,444	2,000	2,236	9794
.07200	.1158	.7277	6217	7947	1,2767	1,455	2,026	2,260	9876
.07300	.1168	.7336	6252	8011	1,2813	1,467	2,053	2,284	9958
.07400	.1177	.7395	6289	8088	1,2861	1,479	2,080	2,308	9641
.07500	.1186	.7453	6324	8162	1,2908	1,490	2,107	2,332	9624
.07600	.1195	.7511	6359	8237	1,2956	1,502	2,135	2,357	9607
.07700	.1205	.7569	6392	8312	1,3004	1,514	2,162	2,382	9591
.07800	.1214	.7623	6427	8386	1,3051	1,525	2,189	2,407	9576
.07900	.1223	.7681	6460	8462	1,3100	1,537	2,217	2,432	9562
.08000	.1232	.7741	6491	8538	1,3149	1,548	2,245	2,458	9548
.08100	.1241	.7799	6526	8614	1,3198	1,560	2,274	2,484	9534
.08200	.1251	.7854	6558	8687	1,3246	1,571	2,303	2,511	9520
.08300	.1259	.7911	6590	8762	1,3295	1,583	2,331	2,537	9506
.08400	.1268	.7967	6622	8837	1,3343	1,594	2,360	2,563	9492
.08500	.1277	.8026	6655	8915	1,3392	1,605	2,389	2,590	9481
.08600	.1286	.8080	6685	8989	1,3440	1,616	2,418	2,617	9469
.08700	.1295	.8137	6716	9064	1,3487	1,628	2,448	2,644	9457
.08800	.1304	.8193	6747	9141	1,3535	1,639	2,478	2,672	9445
.08900	.1313	.8250	6778	9218	1,3580	1,650	2,508	2,700	9433
.09000	.1322	.8306	6808	9294	1,3628	1,661	2,538	2,728	9422
.09100	.1331	.8363	6838	9372	1,3676	1,672	2,568	2,756	9411
.09200	.1340	.8420	6868	9450	1,3723	1,684	2,599	2,785	9401
.09300	.1349	.8474	6897	9525	1,3770	1,695	2,630	2,814	9391
.09400	.1357	.8528	6925	9600	1,3818	1,706	2,662	2,843	9381
.09500	.1366	.8583	6953	9677	1,3867	1,717	2,693	2,873	9371
.09600	.1375	.8639	6982	9755	1,3915	1,728	2,726	2,903	9362
.09700	.1384	.8694	7011	9832	1,3963	1,739	2,757	2,933	9353
.09800	.1392	.8749	7039	9908	1,4011	1,750	2,790	2,963	9344
.09900	.1401	.8803	7066	9985	1,4059	1,761	2,822	2,994	9335
.1000	.1410	.8858	7093	1,006	1,4107	1,772	2,855	3,025	9327
.1010	.1419	.8913	7120	1,014	1,4154	1,783	2,888	3,057	9319
.1020	.1427	.8967	7147	1,022	1,4202	1,793	2,922	3,088	9311
.1030	.1436	.9021	7173	1,030	1,4250	1,805	2,956	3,121	9304
.1040	.1445	.9076	7200	1,037	1,4298	1,815	2,990	3,155	9297
.1050	.1453	.9130	7226	1,045	1,4345	1,826	3,024	3,185	9290
.1060	.1462	.9184	7252	1,053	1,4393	1,837	3,058	3,218	9282
.1070	.1470	.9239	7277	1,061	1,4440	1,848	3,094	3,251	9276
.1080	.1479	.9293	7303	1,069	1,4488	1,858	3,128	3,284	9269
.1090	.1488	.9348	7327	1,076	1,4535	1,869	3,164	3,319	9263
.1100	.1496	.9402	7352	1,085	1,4582	1,880	3,201	3,353	9257
.1110	.1505	.9456	7377	1,093	1,4629	1,891	3,237	3,388	9251
.1120	.1513	.9508	7402	1,101	1,4677	1,902	3,274	3,423	9245
.1130	.1522	.9561	7426	1,109	1,4723	1,913	3,312	3,459	9239
.1140	.1530	.9616	7450	1,117	1,4770	1,923	3,348	3,494	9234
.1150	.1539	.9670	7474	1,125	1,4818	1,934	3,385	3,530	9228
.1160	.1547	.9720	7497	1,133	1,4865	1,944	3,423	3,566	9221
.1170	.1556	.9775	7520	1,141	1,4913	1,955	3,462	3,603	9216
.1180	.1564	.9827	7543	1,149	1,4960	1,966	3,501	3,641	9211
.1190	.1573	.9882	7566	1,157	1,5007	1,977	3,540	3,678	9209

d/L	d/L	$2ed/L$	\tanh $2ed/L$	\sinh $2ed/L$	\cosh $2ed/L$	$4ed/L$	\sinh $4ed/L$	\cosh $4ed/L$	H/H_0
.1200	.1581	.9936	.7589	1.165	1.5356	1.987	3.579	3.716	.9204
.1210	.1590	.9989	.7612	1.174	1.5418	1.998	3.620	3.755	.9200
.1220	.1598	1.004	.7634	1.182	1.5479	2.008	3.659	3.793	.9196
.1230	.1607	1.010	.7656	1.190	1.5546	2.019	3.699	3.832	.9192
.1240	.1615	1.015	.7678	1.198	1.5605	2.030	3.740	3.871	.9189
.1250	.1624	1.020	.7700	1.207	1.5674	2.041	3.782	3.912	.9186
.1260	.1632	1.025	.7721	1.215	1.5734	2.051	3.824	3.952	.9182
.1270	.1640	1.030	.7742	1.223	1.5795	2.061	3.865	3.992	.9178
.1280	.1649	1.036	.7763	1.231	1.5862	2.072	3.907	4.033	.9175
.1290	.1657	1.041	.7783	1.240	1.5927	2.082	3.950	4.074	.9172
.1300	.1665	1.046	.7804	1.248	1.5990	2.093	3.992	4.115	.9169
.1310	.1674	1.052	.7824	1.257	1.6060	2.104	4.036	4.158	.9166
.1320	.1682	1.057	.7844	1.265	1.6124	2.114	4.080	4.201	.9164
.1330	.1691	1.062	.7865	1.273	1.6191	2.125	4.125	4.245	.9161
.1340	.1699	1.068	.7885	1.282	1.6260	2.135	4.169	4.288	.9158
.1350	.1708	1.073	.7905	1.291	1.633	2.146	4.217	4.334	.9156
.1360	.1716	1.078	.7925	1.300	1.640	2.156	4.262	4.378	.9154
.1370	.1724	1.084	.7945	1.308	1.647	2.167	4.309	4.423	.9152
.1380	.1733	1.089	.7964	1.317	1.654	2.177	4.355	4.468	.9150
.1390	.1741	1.094	.7983	1.326	1.660	2.188	4.402	4.514	.9148
.1400	.1749	1.099	.8002	1.334	1.667	2.198	4.450	4.561	.9146
.1410	.1758	1.105	.8021	1.343	1.675	2.209	4.498	4.607	.9144
.1420	.1766	1.110	.8039	1.352	1.681	2.219	4.546	4.654	.9142
.1430	.1774	1.115	.8057	1.360	1.688	2.230	4.595	4.663	.9141
.1440	.1783	1.120	.8076	1.369	1.696	2.240	4.644	4.751	.9140
.1450	.1791	1.125	.8094	1.378	1.703	2.251	4.695	4.800	.9139
.1460	.1800	1.131	.8112	1.388	1.710	2.261	4.746	4.850	.9137
.1470	.1808	1.136	.8131	1.397	1.718	2.272	4.798	4.901	.9136
.1480	.1816	1.141	.8149	1.405	1.725	2.282	4.847	4.951	.9135
.1490	.1825	1.146	.8166	1.415	1.732	2.293	4.901	5.001	.9134
.1500	.1833	1.152	.8183	1.424	1.740	2.303	4.954	5.054	.9133
.1510	.1841	1.157	.8200	1.433	1.747	2.314	5.007	5.106	.9133
.1520	.1850	1.162	.8217	1.442	1.755	2.324	5.061	5.159	.9132
.1530	.1858	1.167	.8234	1.451	1.762	2.335	5.115	5.212	.9132
.1540	.1866	1.173	.8250	1.460	1.770	2.345	5.169	5.265	.9132
.1550	.1875	1.178	.8267	1.469	1.777	2.356	5.225	5.320	.9131
.1560	.1883	1.183	.8284	1.479	1.785	2.366	5.283	5.376	.9130
.1570	.1891	1.188	.8301	1.488	1.793	2.377	5.339	5.432	.9129
.1580	.1900	1.194	.8317	1.498	1.801	2.387	5.398	5.490	.9130
.1590	.1908	1.199	.8333	1.507	1.809	2.398	5.454	5.544	.9130
.1600	.1917	1.204	.8349	1.517	1.817	2.408	5.513	5.603	.9130
.1610	.1925	1.209	.8365	1.527	1.825	2.419	5.571	5.660	.9130
.1620	.1933	1.215	.8381	1.536	1.833	2.429	5.630	5.718	.9130
.1630	.1941	1.220	.8396	1.546	1.841	2.440	5.690	5.777	.9130
.1640	.1950	1.225	.8411	1.555	1.849	2.450	5.751	5.837	.9130
.1650	.1958	1.230	.8427	1.565	1.857	2.461	5.813	5.898	.9131
.1660	.1966	1.235	.8442	1.574	1.865	2.471	5.874	5.959	.9132
.1670	.1975	1.240	.8457	1.584	1.873	2.482	5.938	6.021	.9132
.1680	.1983	1.246	.8472	1.594	1.882	2.492	6.003	6.085	.9133
.1690	.1992	1.251	.8486	1.604	1.890	2.503	6.066	6.148	.9133
.1700	.2000	1.257	.8501	1.614	1.899	2.513	6.130	6.212	.9134
.1710	.2008	1.262	.8515	1.624	1.907	2.523	6.197	6.275	.9135
.1720	.2017	1.267	.8529	1.634	1.915	2.534	6.262	6.342	.9136
.1730	.2025	1.272	.8544	1.644	1.924	2.544	6.329	6.407	.9137
.1740	.2033	1.277	.8558	1.654	1.933	2.555	6.395	6.473	.9138

d/L	d/L	$2xd/L$	\tanh $2xd/L$	\sinh $2xd/L$	\cosh $2xd/L$	$4xd/L$	\sinh $4xd/L$	\cosh $4xd/L$	H/H_0
.1750	.2042	1.282	.8572	1.664	1.941	2.565	6.465	6.541	.9139
.1760	.2050	1.288	.8586	1.675	1.951	2.576	6.534	6.610	.9140
.1770	.2058	1.293	.8600	1.685	1.959	2.586	6.603	6.679	.9141
.1780	.2066	1.298	.8614	1.695	1.968	2.597	6.672	6.747	.9142
.1790	.2075	1.304	.8627	1.706	1.977	2.607	6.744	6.811	.9144
.1800	.2083	1.309	.8640	1.716	1.986	2.618	6.818	6.891	.9145
.1810	.2092	1.314	.8653	1.727	1.995	2.629	6.890	6.963	.9146
.1820	.2100	1.320	.8666	1.737	2.004	2.639	6.963	7.035	.9148
.1830	.2108	1.325	.8680	1.748	2.013	2.650	7.038	7.109	.9149
.1840	.2117	1.330	.8693	1.758	2.022	2.660	7.113	7.183	.9150
.1850	.2125	1.335	.8706	1.769	2.032	2.671	7.191	7.260	.9152
.1860	.2134	1.341	.8718	1.780	2.041	2.681	7.267	7.336	.9154
.1870	.2142	1.346	.8731	1.791	2.051	2.692	7.345	7.413	.9155
.1880	.2150	1.351	.8743	1.801	2.060	2.702	7.421	7.488	.9157
.1890	.2159	1.356	.8755	1.812	2.070	2.712	7.500	7.566	.9159
.1900	.2167	1.362	.8767	1.823	2.079	2.723	7.581	7.647	.9161
.1910	.2176	1.367	.8779	1.834	2.089	2.734	7.663	7.728	.9163
.1920	.2184	1.372	.8791	1.845	2.099	2.744	7.746	7.810	.9165
.1930	.2192	1.377	.8803	1.856	2.108	2.755	7.827	7.891	.9167
.1940	.2201	1.383	.8815	1.867	2.118	2.765	7.911	7.974	.9169
.1950	.2209	1.388	.8827	1.879	2.128	2.776	7.996	8.059	.9170
.1960	.2218	1.393	.8839	1.890	2.138	2.787	8.083	8.145	.9172
.1970	.2226	1.399	.8850	1.901	2.148	2.797	8.167	8.228	.9174
.1980	.2234	1.404	.8862	1.913	2.158	2.808	8.256	8.316	.9176
.1990	.2243	1.409	.8873	1.924	2.169	2.819	8.346	8.406	.9179
.2000	.2251	1.414	.8884	1.935	2.178	2.829	8.436	8.495	.9181
.2010	.2260	1.420	.8895	1.947	2.189	2.840	8.524	8.583	.9183
.2020	.2268	1.425	.8906	1.959	2.199	2.850	8.616	8.674	.9186
.2030	.2277	1.430	.8917	1.970	2.210	2.861	8.708	8.766	.9188
.2040	.2285	1.436	.8928	1.982	2.220	2.872	8.803	8.860	.9190
.2050	.2293	1.441	.8939	1.994	2.231	2.882	8.897	8.953	.9193
.2060	.2302	1.446	.8950	2.006	2.242	2.893	8.994	9.050	.9195
.2070	.2310	1.451	.8960	2.017	2.252	2.903	9.090	9.144	.9197
.2080	.2319	1.457	.8971	2.030	2.263	2.914	9.187	9.240	.9200
.2090	.2328	1.462	.8981	2.042	2.274	2.925	9.288	9.342	.9202
.2100	.2336	1.468	.8991	2.055	2.285	2.936	9.389	9.442	.9205
.2110	.2344	1.473	.9001	2.066	2.295	2.946	9.490	9.542	.9207
.2120	.2353	1.479	.9011	2.079	2.307	2.957	9.590	9.642	.9210
.2130	.2361	1.484	.9021	2.091	2.318	2.967	9.693	9.744	.9213
.2140	.2370	1.489	.9031	2.103	2.329	2.978	9.796	9.847	.9215
.2150	.2378	1.494	.9041	2.115	2.340	2.989	9.902	9.952	.9218
.2160	.2387	1.500	.9051	2.128	2.351	2.999	10.01	10.06	.9221
.2170	.2395	1.506	.9061	2.142	2.364	3.010	10.12	10.17	.9223
.2180	.2404	1.511	.9070	2.154	2.375	3.021	10.23	10.28	.9226
.2190	.2412	1.516	.9079	2.166	2.386	3.031	10.34	10.38	.9228
.2200	.2421	1.521	.9088	2.178	2.397	3.042	10.45	10.50	.9231
.2210	.2429	1.526	.9097	2.192	2.409	3.052	10.56	10.61	.9234
.2220	.2438	1.532	.9107	2.204	2.421	3.063	10.68	10.72	.9236
.2230	.2446	1.537	.9116	2.218	2.433	3.074	10.79	10.84	.9239
.2240	.2455	1.542	.9125	2.230	2.444	3.085	10.91	10.95	.9242
.2250	.2463	1.548	.9134	2.244	2.457	3.095	11.02	11.07	.9245
.2260	.2472	1.553	.9143	2.257	2.469	3.106	11.15	11.19	.9248
.2270	.2481	1.559	.9152	2.271	2.481	3.117	11.27	11.31	.9251
.2280	.2489	1.564	.9161	2.284	2.493	3.128	11.39	11.44	.9254
.2290	.2498	1.569	.9170	2.297	2.506	3.138	11.51	11.56	.9258

ESTA TESTIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

dL	dL	$2dL$	\tanh $2dL$	\sinh $2dL$	\cosh $2dL$	$4dL$	\sinh $4dL$	\cosh $4dL$	$H. H.$
.2300	.2506	1.575	.9178	2.311	2.518	3.149	11.64	11.68	.9261
.2310	.2515	1.580	.9186	2.325	2.531	3.160	11.77	11.81	.9264
.2320	.2523	1.585	.9194	2.338	2.543	3.171	11.90	11.93	.9267
.2330	.2532	1.591	.9203	2.352	2.556	3.182	12.03	12.07	.9270
.2340	.2540	1.596	.9211	2.366	2.569	3.192	12.15	12.19	.9273
.2350	.2549	1.602	.9219	2.380	2.581	3.203	12.29	12.33	.9276
.2360	.2558	1.607	.9227	2.393	2.594	3.214	12.43	12.47	.9279
.2370	.2566	1.612	.9235	2.408	2.607	3.225	12.55	12.59	.9282
.2380	.2575	1.618	.9243	2.422	2.620	3.236	12.69	12.73	.9285
.2390	.2584	1.623	.9251	2.436	2.634	3.247	12.83	12.87	.9288
.2400	.2592	1.629	.9259	2.450	2.647	3.257	12.97	13.01	.9291
.2410	.2601	1.634	.9267	2.464	2.660	3.268	13.11	13.15	.9294
.2420	.2610	1.640	.9275	2.480	2.674	3.279	13.26	13.30	.9298
.2430	.2618	1.645	.9282	2.494	2.687	3.290	13.40	13.44	.9301
.2440	.2627	1.650	.9289	2.508	2.700	3.301	13.55	13.59	.9304
.2450	.2635	1.656	.9296	2.523	2.714	3.312	13.70	13.73	.9307
.2460	.2644	1.661	.9304	2.538	2.728	3.323	13.85	13.88	.9310
.2470	.2653	1.667	.9311	2.553	2.742	3.334	14.00	14.04	.9314
.2480	.2661	1.672	.9318	2.568	2.755	3.344	14.15	14.19	.9317
.2490	.2670	1.678	.9325	2.583	2.770	3.355	14.31	14.35	.9320
.2500	.2679	1.683	.9332	2.599	2.784	3.367	14.47	14.51	.9323
.2510	.2687	1.689	.9339	2.614	2.798	3.377	14.62	14.66	.9327
.2520	.2696	1.694	.9346	2.629	2.813	3.388	14.79	14.82	.9330
.2530	.2705	1.700	.9353	2.645	2.828	3.399	14.95	14.99	.9333
.2540	.2714	1.705	.9360	2.660	2.842	3.410	15.12	15.15	.9336
.2550	.2722	1.711	.9367	2.676	2.856	3.421	15.29	15.32	.9340
.2560	.2731	1.716	.9374	2.691	2.871	3.432	15.45	15.49	.9343
.2570	.2740	1.722	.9381	2.707	2.886	3.443	15.63	15.66	.9346
.2580	.2749	1.727	.9388	2.723	2.901	3.454	15.80	15.83	.9349
.2590	.2757	1.732	.9394	2.739	2.916	3.465	15.97	16.00	.9353
.2600	.2766	1.738	.9400	2.755	2.931	3.476	16.15	16.18	.9356
.2610	.2775	1.744	.9406	2.772	2.946	3.487	16.33	16.36	.9360
.2620	.2784	1.749	.9412	2.788	2.962	3.498	16.51	16.54	.9363
.2630	.2792	1.755	.9418	2.804	2.977	3.509	16.69	16.73	.9367
.2640	.2801	1.760	.9425	2.820	2.992	3.520	16.88	16.91	.9370
.2650	.2810	1.766	.9431	2.837	3.008	3.531	17.07	17.10	.9373
.2660	.2819	1.771	.9437	2.853	3.023	3.542	17.26	17.28	.9377
.2670	.2827	1.776	.9443	2.870	3.039	3.553	17.45	17.45	.9380
.2680	.2836	1.782	.9449	2.886	3.055	3.564	17.64	17.67	.9383
.2690	.2845	1.788	.9455	2.904	3.071	3.575	17.84	17.87	.9386
.2700	.2854	1.793	.9461	2.921	3.088	3.587	18.04	18.07	.9390
.2710	.2863	1.799	.9467	2.938	3.104	3.598	18.24	18.27	.9393
.2720	.2872	1.804	.9473	2.956	3.120	3.610	18.46	18.49	.9396
.2730	.2880	1.810	.9478	2.973	3.136	3.620	18.65	18.67	.9400
.2740	.2889	1.815	.9484	2.990	3.153	3.631	18.86	18.89	.9403
.2750	.2898	1.821	.9490	3.008	3.170	3.642	19.07	19.10	.9406
.2760	.2907	1.826	.9495	3.025	3.186	3.653	19.28	19.30	.9410
.2770	.2916	1.832	.9500	3.043	3.203	3.664	19.49	19.51	.9413
.2780	.2924	1.837	.9505	3.061	3.220	3.675	19.71	19.74	.9416
.2790	.2933	1.843	.9511	3.079	3.237	3.686	19.93	19.96	.9420
.2800	.2942	1.849	.9516	3.097	3.254	3.697	20.16	20.18	.9423
.2810	.2951	1.854	.9521	3.115	3.272	3.709	20.39	20.41	.9426
.2820	.2960	1.860	.9526	3.133	3.289	3.720	20.62	20.64	.9430
.2830	.2969	1.866	.9532	3.152	3.307	3.731	20.85	20.87	.9433
.2840	.2978	1.871	.9537	3.171	3.325	3.742	21.09	21.11	.9436

#/L	d/L	2ed/L	1sth 2ed/L	sinh 2ed/L	cosh 2ed/L	4ed/L	sinh 4ed/L	cosh 4ed/L	H/H'
.2850	.2987	1.877	.9542	1.190	3.343	1.754	21.33	21.35	.9440
.2860	.2996	1.882	.9547	3.209	3.361	3.765	21.57	21.59	.9443
.2870	.3005	1.888	.9552	3.228	3.379	1.776	21.82	21.84	.9446
.2880	.3014	1.893	.9557	3.246	3.396	3.787	22.05	22.07	.9449
.2890	.3022	1.899	.9562	3.264	3.414	1.798	22.30	22.32	.9452
.2900	.3031	1.905	.9567	3.284	3.433	3.809	22.54	22.57	.9456
.2910	.3040	1.910	.9572	3.303	3.451	3.821	22.81	22.83	.9459
.2920	.3049	1.916	.9577	3.323	3.471	1.832	23.07	23.09	.9463
.2930	.3058	1.922	.9581	3.343	3.490	3.843	23.33	23.35	.9466
.2940	.3067	1.927	.9585	3.362	3.508	3.855	23.60	23.62	.9469
.2950	.3076	1.933	.9590	3.382	3.527	3.866	23.86	23.88	.9473
.2960	.3085	1.938	.9594	3.402	3.546	1.877	24.12	24.15	.9476
.2970	.3094	1.944	.9599	3.422	3.565	3.888	24.40	24.42	.9480
.2980	.3103	1.950	.9603	3.442	3.585	3.900	24.68	24.70	.9483
.2990	.3112	1.955	.9607	3.462	3.604	3.911	24.96	24.98	.9486
.3000	.3121	1.961	.9611	3.483	3.624	3.922	25.24	25.26	.9490
.3010	.3130	1.967	.9616	3.503	3.643	3.933	25.53	25.55	.9493
.3020	.3139	1.972	.9620	3.524	3.663	3.945	25.82	25.83	.9496
.3030	.3148	1.978	.9624	3.545	3.683	3.956	26.12	26.14	.9499
.3040	.3157	1.984	.9629	3.566	3.703	3.968	26.42	26.44	.9502
.3050	.3166	1.989	.9633	3.587	3.724	3.979	26.72	26.74	.9505
.3060	.3175	1.995	.9637	3.609	3.745	3.990	27.02	27.04	.9509
.3070	.3184	2.001	.9641	3.630	3.765	4.002	27.33	27.35	.9512
.3080	.3193	2.007	.9645	3.651	3.786	4.013	27.65	27.66	.9515
.3090	.3202	2.012	.9649	3.673	3.806	4.024	27.96	27.98	.9518
.3100	.3211	2.018	.9653	3.694	3.827	4.036	28.28	28.30	.9522
.3110	.3220	2.023	.9656	3.716	3.848	4.047	28.60	28.62	.9525
.3120	.3229	2.029	.9660	3.738	3.870	4.058	28.93	28.95	.9528
.3130	.3239	2.035	.9664	3.760	3.891	4.070	29.27	29.28	.9531
.3140	.3248	2.041	.9668	3.782	3.912	4.081	29.60	29.62	.9533
.3150	.3257	2.046	.9672	3.805	3.934	4.093	29.94	29.96	.9538
.3160	.3266	2.052	.9676	3.828	3.956	4.104	30.29	30.31	.9541
.3170	.3275	2.058	.9679	3.851	3.978	4.116	30.64	30.63	.9544
.3180	.3284	2.063	.9682	3.873	4.000	4.127	30.99	31.00	.9547
.3190	.3294	2.069	.9686	3.896	4.022	4.139	31.35	31.37	.9550
.3200	.3302	2.075	.9690	3.919	4.043	4.150	31.71	31.72	.9553
.3210	.3311	2.081	.9693	3.943	4.068	4.161	32.07	32.08	.9556
.3220	.3321	2.086	.9696	3.966	4.090	4.173	32.44	32.46	.9559
.3230	.3330	2.092	.9700	3.990	4.114	4.185	32.83	32.84	.9562
.3240	.3339	2.098	.9703	4.014	4.136	4.196	33.20	33.22	.9565
.3250	.3349	2.104	.9707	4.038	4.160	4.208	33.60	33.61	.9568
.3260	.3357	2.110	.9710	4.061	4.183	4.219	33.97	33.99	.9571
.3270	.3367	2.115	.9713	4.085	4.206	4.231	34.37	34.38	.9574
.3280	.3376	2.121	.9717	4.110	4.230	4.242	34.77	34.79	.9577
.3290	.3385	2.127	.9720	4.135	4.254	4.254	35.18	35.19	.9580
.3300	.3394	2.133	.9723	4.159	4.277	4.265	35.58	35.59	.9583
.3310	.3403	2.138	.9726	4.184	4.301	4.277	35.99	36.00	.9586
.3320	.3413	2.144	.9729	4.209	4.325	4.288	36.42	36.43	.9589
.3330	.3422	2.150	.9732	4.234	4.350	4.300	36.84	36.85	.9592
.3340	.3431	2.156	.9735	4.259	4.375	4.311	37.25	37.27	.9595
.3350	.3440	2.161	.9738	4.284	4.399	4.323	37.70	37.72	.9598
.3360	.3449	2.167	.9741	4.310	4.424	4.335	38.14	38.15	.9601
.3370	.3459	2.173	.9744	4.336	4.450	4.346	38.59	38.60	.9604
.3380	.3468	2.179	.9747	4.361	4.474	4.358	39.03	39.04	.9607
.3390	.3477	2.185	.9750	4.388	4.500	4.369	39.48	39.49	.9610

d/L_0	d/L	$2cd/L$	$\tanh 2cd/L$	$\sinh 2cd/L$	$\cosh 2cd/L$	$4cd/L$	$\sinh 4cd/L$	$\cosh 4cd/L$	H/H_0
.3400	.3468	2.190	.9753	4.413	4.525	4.381	39.95	39.96	.9613
.3410	.3495	2.196	.9756	4.439	4.550	4.392	40.40	40.41	.9615
.3420	.3504	2.202	.9758	4.466	4.576	4.404	40.87	40.89	.9618
.3430	.3514	2.208	.9761	4.492	4.602	4.416	41.36	41.37	.9621
.3440	.3523	2.214	.9764	4.521	4.630	4.427	41.85	41.84	.9623
.3450	.3532	2.220	.9767	4.547	4.656	4.439	42.33	42.34	.9626
.3460	.3542	2.225	.9769	4.575	4.682	4.451	42.83	42.84	.9629
.3470	.3551	2.231	.9772	4.602	4.709	4.462	43.34	43.35	.9632
.3480	.3560	2.237	.9775	4.629	4.736	4.474	43.85	43.86	.9635
.3490	.3570	2.243	.9777	4.657	4.763	4.486	44.37	44.40	.9638
.3500	.3579	2.249	.9780	4.685	4.791	4.498	44.89	44.80	.9640
.3510	.3588	2.255	.9782	4.713	4.818	4.509	45.42	45.43	.9643
.3520	.3598	2.260	.9785	4.741	4.845	4.521	45.95	45.96	.9646
.3530	.3607	2.266	.9787	4.770	4.873	4.533	46.50	46.51	.9648
.3540	.3616	2.272	.9790	4.798	4.901	4.544	47.03	47.04	.9651
.3550	.3625	2.278	.9792	4.827	4.929	4.556	47.59	47.60	.9654
.3560	.3635	2.284	.9795	4.856	4.957	4.568	48.15	48.16	.9657
.3570	.3644	2.290	.9797	4.885	4.987	4.579	48.72	48.73	.9659
.3580	.3653	2.296	.9799	4.914	5.015	4.591	49.29	49.30	.9662
.3590	.3663	2.301	.9801	4.944	5.044	4.603	49.88	49.89	.9665
.3600	.3672	2.307	.9804	4.974	5.072	4.615	50.47	50.48	.9667
.3610	.3682	2.313	.9806	5.004	5.103	4.627	51.08	51.09	.9670
.3620	.3691	2.319	.9808	5.034	5.132	4.638	51.67	51.67	.9673
.3630	.3701	2.325	.9811	5.063	5.161	4.650	52.27	52.28	.9675
.3640	.3709	2.331	.9813	5.094	5.191	4.661	52.89	52.90	.9677
.3650	.3719	2.337	.9815	5.124	5.221	4.673	53.52	53.53	.9680
.3660	.3728	2.342	.9817	5.155	5.251	4.685	54.15	54.16	.9683
.3670	.3737	2.348	.9819	5.186	5.281	4.697	54.78	54.79	.9686
.3680	.3747	2.354	.9821	5.217	5.312	4.708	55.42	55.43	.9688
.3690	.3756	2.360	.9823	5.248	5.343	4.720	56.09	56.10	.9690
.3700	.3766	2.366	.9825	5.280	5.374	4.732	56.76	56.77	.9693
.3710	.3775	2.372	.9827	5.312	5.406	4.744	57.43	57.44	.9696
.3720	.3785	2.378	.9830	5.345	5.438	4.756	58.13	58.14	.9698
.3730	.3794	2.384	.9832	5.377	5.469	4.768	58.82	58.83	.9700
.3740	.3804	2.390	.9834	5.410	5.502	4.780	59.52	59.53	.9702
.3750	.3813	2.396	.9835	5.443	5.534	4.792	60.24	60.25	.9705
.3760	.3822	2.402	.9837	5.475	5.566	4.803	60.95	60.95	.9707
.3770	.3832	2.408	.9839	5.508	5.598	4.815	61.68	61.68	.9709
.3780	.3841	2.413	.9841	5.541	5.631	4.827	62.41	62.42	.9712
.3790	.3850	2.419	.9843	5.572	5.661	4.838	63.13	63.14	.9714
.3800	.3860	2.425	.9845	5.609	5.697	4.851	63.90	63.91	.9717
.3810	.3869	2.431	.9847	5.643	5.731	4.862	64.66	64.67	.9719
.3820	.3879	2.437	.9848	5.677	5.765	4.875	65.45	65.46	.9721
.3830	.3888	2.443	.9850	5.712	5.798	4.885	66.20	66.21	.9724
.3840	.3898	2.449	.9852	5.746	5.833	4.898	67.00	67.01	.9726
.3850	.3907	2.455	.9854	5.780	5.866	4.910	67.80	67.81	.9728
.3860	.3917	2.461	.9855	5.814	5.900	4.922	68.61	68.62	.9730
.3870	.3926	2.467	.9857	5.850	5.935	4.934	69.45	69.46	.9732
.3880	.3936	2.473	.9859	5.886	5.970	4.946	70.28	70.29	.9735
.3890	.3945	2.479	.9860	5.921	6.005	4.958	71.12	71.13	.9737
.3900	.3955	2.485	.9862	5.957	6.040	4.970	71.97	71.98	.9739
.3910	.3964	2.491	.9864	5.993	6.076	4.982	72.85	72.86	.9741
.3920	.3974	2.497	.9865	6.029	6.112	4.993	73.72	73.72	.9743
.3930	.3983	2.503	.9867	6.066	6.148	5.005	74.59	74.59	.9745
.3940	.3993	2.509	.9869	6.103	6.183	5.017	75.48	75.48	.9748

d/L	d/L	2e d/L	tanh 2e d/L	sinh 2e d/L	cosh 2e d/L	sinh 4e d/L	cosh 4e d/L	Hi%	
.3950	.4002	2.515	.9870	6.140	6.221	5.029	76.40	76.40	.9750
.3960	.4012	2.521	.9872	6.177	6.258	5.041	77.32	77.32	.9752
.3970	.4021	2.527	.9873	6.215	6.295	5.053	78.24	78.24	.9754
.3980	.4031	2.532	.9874	6.252	6.332	5.065	79.19	79.19	.9756
.3990	.4040	2.538	.9876	6.290	6.369	5.077	80.13	80.13	.9758
.4000	.4050	2.544	.9877	6.329	6.407	5.089	81.12	81.12	.9761
.4010	.4059	2.550	.9879	6.367	6.445	5.101	82.08	82.08	.9763
.4020	.4069	2.556	.9880	6.406	6.483	5.113	83.06	83.06	.9765
.4030	.4078	2.562	.9882	6.444	6.521	5.125	84.07	84.07	.9766
.4040	.4088	2.568	.9883	6.484	6.561	5.137	85.11	85.11	.9768
.4050	.4098	2.575	.9885	6.523	6.601	5.149	86.14	86.14	.9777
.4060	.4107	2.581	.9886	6.564	6.640	5.161	87.17	87.17	.9772
.4070	.4116	2.586	.9887	6.603	6.679	5.173	88.20	88.20	.9774
.4080	.4126	2.592	.9889	6.644	6.718	5.185	89.28	89.28	.9776
.4090	.4136	2.598	.9890	6.684	6.758	5.197	90.39	90.39	.9778
.4100	.4145	2.604	.9891	6.725	6.799	5.209	91.44	91.44	.9780
.4110	.4155	2.610	.9892	6.766	6.839	5.221	92.55	92.55	.9782
.4120	.4164	2.616	.9894	6.806	6.879	5.233	93.67	93.67	.9784
.4130	.4174	2.623	.9895	6.849	6.921	5.245	94.83	94.83	.9786
.4140	.4183	2.629	.9896	6.890	6.963	5.257	95.96	95.96	.9788
.4150	.4193	2.635	.9898	6.932	7.004	5.269	97.13	97.13	.9790
.4160	.4203	2.641	.9899	6.974	7.046	5.281	98.30	98.30	.9792
.4170	.4212	2.647	.9900	7.018	7.088	5.294	99.52	99.52	.9794
.4180	.4222	2.653	.9901	7.060	7.130	5.305	100.7	100.7	.9795
.4190	.4231	2.659	.9902	7.102	7.173	5.317	101.9	101.9	.9797
.4200	.4241	2.665	.9904	7.146	7.215	5.329	103.1	103.1	.9798
.4210	.4251	2.671	.9905	7.190	7.259	5.341	104.4	104.4	.9800
.4220	.4260	2.677	.9906	7.234	7.303	5.353	105.7	105.7	.9802
.4230	.4270	2.683	.9907	7.279	7.349	5.366	107.0	107.0	.9804
.4240	.4280	2.689	.9908	7.323	7.392	5.378	108.3	108.3	.9806
.4250	.4289	2.695	.9909	7.371	7.438	5.390	109.7	109.7	.9808
.4260	.4298	2.701	.9910	7.412	7.479	5.402	110.9	110.9	.9810
.4270	.4308	2.707	.9911	7.457	7.524	5.414	112.2	112.2	.9811
.4280	.4318	2.713	.9912	7.503	7.570	5.426	113.6	113.6	.9812
.4290	.4328	2.719	.9913	7.550	7.616	5.438	115.0	115.0	.9814
.4300	.4337	2.725	.9914	7.595	7.661	5.450	116.4	116.4	.9816
.4310	.4347	2.731	.9915	7.642	7.707	5.462	117.8	117.8	.9818
.4320	.4356	2.737	.9916	7.688	7.753	5.474	119.2	119.2	.9819
.4330	.4366	2.743	.9917	7.735	7.800	5.486	120.7	120.7	.9821
.4340	.4376	2.749	.9918	7.783	7.847	5.499	122.2	122.2	.9823
.4350	.4385	2.755	.9919	7.831	7.895	5.511	123.7	123.7	.9824
.4360	.4395	2.762	.9920	7.880	7.943	5.523	125.2	125.2	.9826
.4370	.4405	2.768	.9921	7.922	7.991	5.535	126.7	126.7	.9828
.4380	.4414	2.774	.9922	7.973	8.035	5.547	128.3	128.3	.9829
.4390	.4424	2.780	.9923	8.026	8.088	5.560	129.9	129.9	.9830
.4400	.4434	2.786	.9924	8.075	8.136	5.572	131.4	131.4	.9832
.4410	.4443	2.792	.9925	8.124	8.185	5.584	133.0	133.0	.9833
.4420	.4453	2.798	.9926	8.175	8.236	5.596	134.7	134.7	.9835
.4430	.4463	2.804	.9927	8.228	8.285	5.608	136.3	136.3	.9836
.4440	.4472	2.810	.9928	8.274	8.334	5.620	137.9	137.9	.9838
.4450	.4482	2.816	.9929	8.326	8.387	5.632	139.6	139.6	.9839
.4460	.4492	2.822	.9930	8.379	8.438	5.644	141.4	141.4	.9841
.4470	.4501	2.828	.9930	8.427	8.486	5.657	143.1	143.1	.9843
.4480	.4511	2.834	.9931	8.481	8.540	5.669	144.8	144.8	.9844
.4490	.4521	2.840	.9932	8.532	8.590	5.681	146.6	146.6	.9846

d/L	d/L	2d/L	tanh 2d/L	sinh 2d/L	cosh 2d/L	4d/L	sinh 4d/L	cosh 4d/L	H/H ₀
.4500	.4531	2.847	.9933	8.585	8.643	5.693	148.4	148.4	.9847
.4510	.4540	2.853	.9934	8.638	8.695	5.705	150.2	150.2	.9848
.4520	.4550	2.859	.9935	8.693	8.750	5.717	152.1	152.1	.9849
.4530	.4560	2.865	.9935	8.747	8.804	5.730	154.0	154.0	.9851
.4540	.4569	2.871	.9936	8.797	8.854	5.742	155.9	155.9	.9852
.4550	.4579	2.877	.9937	8.853	8.910	5.754	157.7	157.7	.9853
.4560	.4589	2.883	.9938	8.910	8.965	5.766	159.7	159.7	.9855
.4570	.4599	2.890	.9938	8.965	9.021	5.779	161.7	161.7	.9857
.4580	.4608	2.896	.9939	9.016	9.072	5.791	163.6	163.6	.9858
.4590	.4618	2.902	.9940	9.074	9.129	5.803	165.6	165.6	.9859
.4600	.4628	2.908	.9941	9.132	9.186	5.815	167.7	167.7	.9860
.4610	.4637	2.914	.9941	9.183	9.238	5.827	169.7	169.7	.9862
.4620	.4647	2.920	.9942	9.242	9.296	5.840	171.8	171.8	.9863
.4630	.4657	2.926	.9943	9.301	9.354	5.852	173.9	173.9	.9864
.4640	.4666	2.932	.9944	9.353	9.406	5.864	176.0	176.0	.9865
.4650	.4676	2.938	.9944	9.413	9.466	5.876	178.2	178.2	.9867
.4660	.4686	2.944	.9945	9.472	9.525	5.888	180.4	180.4	.9868
.4670	.4695	2.951	.9946	9.533	9.585	5.900	182.6	182.6	.9869
.4680	.4705	2.957	.9946	9.586	9.638	5.912	184.8	184.8	.9871
.4690	.4715	2.963	.9947	9.647	9.699	5.925	187.2	187.2	.9872
.4700	.4725	2.969	.9947	9.709	9.760	5.937	189.5	189.5	.9873
.4710	.4735	2.975	.9948	9.770	9.821	5.949	191.8	191.8	.9874
.4720	.4744	2.981	.9949	9.826	9.877	5.962	194.2	194.2	.9875
.4730	.4754	2.987	.9949	9.888	9.938	5.974	196.5	196.5	.9876
.4740	.4764	2.993	.9950	9.951	10.00	5.986	199.0	199.0	.9877
.4750	.4774	2.999	.9951	10.01	10.07	5.999	201.4	201.4	.9878
.4760	.4783	3.005	.9951	10.07	10.12	6.011	203.9	203.9	.9880
.4770	.4793	3.012	.9952	10.13	10.18	6.023	206.5	206.5	.9881
.4780	.4803	3.018	.9952	10.20	10.25	6.036	209.0	209.0	.9882
.4790	.4813	3.024	.9953	10.26	10.31	6.048	211.7	211.7	.9883
.4800	.4822	3.030	.9953	10.32	10.37	6.060	214.2	214.2	.9885
.4810	.4832	3.036	.9954	10.39	10.43	6.072	216.8	216.8	.9886
.4820	.4842	3.042	.9955	10.45	10.50	6.085	219.5	219.5	.9887
.4830	.4852	3.049	.9955	10.52	10.57	6.097	222.2	222.2	.9888
.4840	.4862	3.055	.9956	10.59	10.63	6.109	225.0	225.0	.9889
.4850	.4871	3.061	.9956	10.65	10.69	6.121	228.3	228.3	.9890
.4860	.4881	3.067	.9957	10.71	10.76	6.134	230.6	230.6	.9891
.4870	.4891	3.073	.9957	10.78	10.83	6.146	233.5	233.5	.9892
.4880	.4901	3.079	.9958	10.85	10.90	6.159	236.4	236.4	.9893
.4890	.4911	3.086	.9958	10.92	10.96	6.171	239.6	239.6	.9895
.4900	.4920	3.092	.9959	10.99	11.03	6.183	242.3	242.3	.9896
.4910	.4930	3.098	.9959	11.05	11.09	6.195	245.2	245.2	.9897
.4920	.4940	3.104	.9960	11.12	11.16	6.208	248.3	248.3	.9898
.4930	.4950	3.110	.9960	11.19	11.24	6.220	251.3	251.3	.9899
.4940	.4960	3.117	.9961	11.26	11.31	6.232	254.5	254.5	.9899
.4950	.4969	3.122	.9961	11.32	11.37	6.245	257.6	257.6	.9900
.4960	.4979	3.128	.9962	11.40	11.44	6.257	260.8	260.8	.9901
.4970	.4989	3.135	.9962	11.47	11.51	6.269	264.0	264.0	.9902
.4980	.4999	3.141	.9963	11.54	11.59	6.282	267.3	267.3	.9903
.4990	.5009	3.147	.9963	11.61	11.65	6.294	270.6	270.6	.9904
.5000	.5018	3.153	.9964	11.68	11.72	6.306	274.0	274.0	.9905
.5010	.5028	3.159	.9964	11.75	11.80	6.319	277.5	277.5	.9906
.5020	.5038	3.166	.9964	11.83	11.87	6.331	280.8	280.8	.9907
.5030	.5048	3.172	.9965	11.91	11.95	6.343	284.3	284.3	.9908
.5040	.5058	3.178	.9965	11.98	12.02	6.356	287.9	287.9	.9909

d/L	d/L	$2d/L$	$\tanh 2d/L$	$\sinh 2d/L$	$\cosh 2d/L$	$4d/L$	$\sinh 4d/L$	$\cosh 4d/L$	H/H_0
.5050	.5067	3.184	.9966	12.05	12.09	6.368	291.4	291.4	.9909
.5060	.5077	3.190	.9966	12.12	12.16	6.380	293.0	293.0	.9910
.5070	.5087	3.196	.9967	12.20	12.24	6.393	298.7	298.7	.9911
.5080	.5097	3.203	.9967	12.28	12.32	6.405	302.4	302.4	.9912
.5090	.5107	3.209	.9968	12.35	12.39	6.417	306.2	306.2	.9913
.5100	.5117	3.215	.9968	12.43	12.47	6.430	310.0	310.0	.9914
.5110	.5126	3.221	.9968	12.50	12.54	6.442	313.8	313.8	.9915
.5120	.5136	3.227	.9969	12.58	12.62	6.454	317.7	317.7	.9915
.5130	.5146	3.233	.9969	12.66	12.70	6.467	321.7	321.7	.9916
.5140	.5156	3.240	.9970	12.74	12.78	6.479	325.7	325.7	.9917
.5150	.5166	3.246	.9970	12.82	12.86	6.491	329.7	329.7	.9918
.5160	.5176	3.252	.9970	12.90	12.94	6.504	333.8	333.8	.9919
.5170	.5185	3.258	.9971	12.98	13.02	6.516	337.9	337.9	.9919
.5180	.5195	3.264	.9971	13.06	13.10	6.529	342.2	342.2	.9920
.5190	.5205	3.270	.9971	13.14	13.18	6.541	346.4	346.4	.9921
.5200	.5215	3.277	.9972	13.22	13.26	6.553	350.7	350.7	.9922
.5210	.5225	3.283	.9972	13.31	13.35	6.566	355.1	355.1	.9923
.5220	.5235	3.289	.9972	13.39	13.43	6.578	359.6	359.6	.9924
.5230	.5244	3.295	.9973	13.47	13.51	6.590	364.0	364.0	.9924
.5240	.5254	3.301	.9973	13.55	13.59	6.603	368.5	368.5	.9925
.5250	.5264	3.308	.9973	13.64	13.68	6.615	373.1	373.1	.9926
.5260	.5274	3.314	.9974	13.73	13.76	6.628	377.8	377.8	.9927
.5270	.5284	3.320	.9974	13.81	13.85	6.640	382.5	382.5	.9927
.5280	.5294	3.326	.9974	13.90	13.94	6.652	387.3	387.3	.9928
.5290	.5304	3.333	.9975	13.99	14.02	6.665	392.2	392.2	.9929
.5300	.5314	3.339	.9975	14.07	14.10	6.677	397.0	397.0	.9930
.5310	.5323	3.345	.9975	14.16	14.19	6.690	402.0	402.0	.9931
.5320	.5333	3.351	.9976	14.25	14.28	6.702	406.9	406.9	.9931
.5330	.5343	3.357	.9976	14.34	14.37	6.714	412.0	412.0	.9932
.5340	.5353	3.363	.9976	14.43	14.46	6.727	417.2	417.2	.9933
.5350	.5363	3.370	.9976	14.52	14.55	6.739	422.4	422.4	.9933
.5360	.5373	3.376	.9977	14.61	14.64	6.752	427.7	427.7	.9934
.5370	.5383	3.382	.9977	14.70	14.73	6.764	433.1	433.1	.9935
.5380	.5393	3.388	.9977	14.79	14.82	6.776	438.5	438.5	.9935
.5390	.5402	3.394	.9977	14.88	14.91	6.789	444.0	444.0	.9936
.5400	.5412	3.401	.9978	14.97	15.01	6.801	449.5	449.5	.9936
.5410	.5422	3.407	.9978	15.07	15.10	6.814	455.1	455.1	.9937
.5420	.5432	3.413	.9978	15.16	15.19	6.826	460.7	460.7	.9938
.5430	.5442	3.419	.9979	15.25	15.29	6.838	466.4	466.4	.9938
.5440	.5452	3.426	.9979	15.35	15.38	6.851	472.2	472.2	.9939
.5450	.5461	3.432	.9979	15.45	15.48	6.863	478.1	478.1	.9940
.5460	.5471	3.438	.9979	15.54	15.58	6.876	484.3	484.3	.9941
.5470	.5481	3.444	.9980	15.64	15.67	6.888	490.3	490.3	.9941
.5480	.5491	3.450	.9980	15.74	15.77	6.901	496.4	496.4	.9942
.5490	.5501	3.456	.9980	15.84	15.87	6.913	502.5	502.5	.9942
.5500	.5511	3.463	.9980	15.94	15.97	6.925	508.7	508.7	.9942
.5510	.5521	3.469	.9981	16.04	16.07	6.937	515.0	515.0	.9942
.5520	.5531	3.475	.9981	16.14	16.17	6.950	521.6	521.6	.9943
.5530	.5541	3.481	.9981	16.24	16.27	6.962	528.1	528.1	.9944
.5540	.5551	3.488	.9981	16.34	16.37	6.975	534.8	534.8	.9944
.5550	.5560	3.494	.9982	16.44	16.47	6.987	541.4	541.4	.9945
.5560	.5570	3.500	.9982	16.54	16.57	7.000	548.1	548.1	.9945
.5570	.5580	3.506	.9982	16.65	16.68	7.012	554.9	554.9	.9946
.5580	.5590	3.512	.9982	16.75	16.78	7.025	562.0	562.0	.9947
.5590	.5600	3.519	.9982	16.85	16.88	7.037	569.1	569.1	.9947

d/L	$d'L$	$2d/L$	$\sinh 2d/L$	$\sinh 2d/L$	$\cosh 2d/L$	$4d/L$	$\sinh 4d/L$	$\cosh 4d/L$	H/H_0
.5600	.5610	3.525	.9981	16.96	16.99	7.050	576.1	576.1	.9947
.5610	.5620	3.531	.9983	17.06	17.09	7.062	583.3	583.3	.9948
.5620	.5630	3.537	.9983	17.17	17.20	7.074	590.7	590.7	.9949
.5630	.5640	3.543	.9983	17.28	17.31	7.087	598.0	598.0	.9949
.5640	.5649	3.550	.9984	17.38	17.41	7.099	605.0	605.0	.9950
.5650	.5659	3.556	.9984	17.49	17.52	7.112	613.2	613.2	.9950
.5660	.5669	3.562	.9984	17.60	17.63	7.124	620.8	620.8	.9951
.5670	.5679	3.568	.9984	17.71	17.74	7.136	628.5	628.5	.9951
.5680	.5689	3.575	.9984	17.82	17.85	7.149	636.4	636.4	.9952
.5690	.5699	3.581	.9985	17.94	17.97	7.161	644.3	644.3	.9952
.5700	.5709	3.587	.9985	18.05	18.08	7.174	652.4	652.4	.9953
.5710	.5719	3.593	.9985	18.16	18.19	7.186	660.5	660.5	.9953
.5720	.5729	3.600	.9985	18.28	18.31	7.199	668.8	668.8	.9954
.5730	.5738	3.606	.9985	18.39	18.42	7.211	677.2	677.2	.9954
.5740	.5748	3.612	.9985	18.50	18.53	7.224	685.6	685.6	.9955
.5750	.5758	3.618	.9986	18.62	18.64	7.236	694.3	694.3	.9955
.5760	.5768	3.624	.9986	18.73	18.76	7.249	703.2	703.2	.9956
.5770	.5778	3.630	.9986	18.85	18.88	7.261	711.9	711.9	.9956
.5780	.5788	3.637	.9986	18.97	19.00	7.274	720.8	720.8	.9957
.5790	.5798	3.643	.9986	19.09	19.12	7.286	729.9	729.9	.9957
.5800	.5808	3.649	.9987	19.21	19.24	7.298	739.0	739.0	.9957
.5810	.5818	3.656	.9987	19.33	19.36	7.311	748.1	748.1	.9958
.5820	.5828	3.662	.9987	19.45	19.48	7.323	757.5	757.5	.9958
.5830	.5838	3.668	.9987	19.58	19.60	7.336	767.0	767.0	.9959
.5840	.5848	3.674	.9987	19.70	19.73	7.348	776.7	776.7	.9959
.5850	.5858	3.680	.9987	19.81	19.84	7.361	786.5	786.5	.9960
.5860	.5867	3.686	.9987	19.94	19.96	7.373	796.4	796.4	.9960
.5870	.5877	3.693	.9988	20.06	20.09	7.386	806.3	806.3	.9960
.5880	.5887	3.699	.9988	20.19	20.21	7.398	816.5	816.5	.9961
.5890	.5897	3.705	.9988	20.32	20.34	7.411	826.7	826.7	.9961
.5900	.5907	3.712	.9988	20.45	20.47	7.423	837.1	837.1	.9962
.5910	.5917	3.718	.9988	20.57	20.60	7.436	847.6	847.6	.9962
.5920	.5927	3.724	.9988	20.70	20.73	7.448	858.2	858.2	.9963
.5930	.5937	3.730	.9989	20.83	20.86	7.460	868.9	868.9	.9963
.5940	.5947	3.737	.9989	20.97	20.99	7.473	879.8	879.8	.9963
.5950	.5957	3.743	.9989	21.10	21.12	7.485	890.8	890.8	.9964
.5960	.5967	3.749	.9989	21.23	21.25	7.498	901.9	901.9	.9964
.5970	.5977	3.755	.9989	21.35	21.37	7.510	913.4	913.4	.9964
.5980	.5987	3.761	.9989	21.49	21.51	7.523	925.0	925.0	.9965
.5990	.5996	3.767	.9989	21.62	21.64	7.535	936.5	936.5	.9965
.6000	.6006	3.774	.9990	21.76	21.78	7.548	948.1	948.1	.9965
.6100	.6106	3.836	.9991	23.17	23.19	7.673	1,074	1,074	.9969
.6200	.6203	3.899	.9992	24.66	24.64	7.798	1,217	1,217	.9972
.6300	.6303	3.961	.9993	26.25	26.27	7.923	1,379	1,379	.9975
.6400	.6404	4.024	.9994	27.95	27.97	8.048	1,527	1,527	.9977
.6500	.6504	4.086	.9994	29.75	29.77	8.173	1,771	1,771	.9980
.6600	.6603	4.149	.9995	31.64	31.69	8.298	2,008	2,008	.9982
.6700	.6703	4.212	.9996	33.73	33.74	8.423	2,275	2,275	.9983
.6800	.6803	4.274	.9996	35.90	35.92	8.548	2,579	2,579	.9985
.6900	.6902	4.337	.9997	38.23	38.24	8.674	2,923	2,923	.9987
.7000	.7002	4.400	.9997	40.71	40.72	8.799	3,314	3,314	.9988
.7100	.7102	4.462	.9997	43.34	43.35	8.925	3,757	3,757	.9989
.7200	.7202	4.525	.9998	46.14	46.13	9.050	4,258	4,258	.9990
.7300	.7302	4.588	.9998	49.13	49.14	9.175	4,828	4,828	.9991
.7400	.7401	4.650	.9998	52.31	52.32	9.301	5,473	5,473	.9992

d/L	d/L	$2d/L$	$\tanh 2d/L$	$\sinh 2d/L$	$\cosh 2d/L$	$4d/L$	$\sinh 4d/L$	$\cosh 4d/L$	H/H_0
.7500	.7501	4.713	.9998	55.70	55.71	9.426	6,204	6,204	.9993
.7600	.7601	4.776	.9999	59.30	59.31	9.552	7,034	7,034	.9994
.7700	.7701	4.839	.9999	63.15	63.16	9.677	7,976	7,976	.9995
.7800	.7801	4.902	.9999	67.24	67.25	9.803	9,042	9,042	.9996
.7900	.7901	4.964	.9999	71.60	71.60	9.929	10,250	10,250	.9996
.8000	.8001	5.027	.9999	76.24	76.24	10.05	11,620	11,620	.9996
.8100	.8101	5.090	.9999	81.19	81.19	10.18	13,180	13,180	.9996
.8200	.8201	5.153	.9999	86.44	86.44	10.31	14,940	14,940	.9997
.8300	.8301	5.215	.9999	92.05	92.05	10.43	17,340	17,340	.9997
.8400	.8400	5.278	1.000	98.01	98.01	10.56	19,210	19,210	.9997
.8500	.8500	5.341	1.000	104.4	104.4	10.68	21,780	21,780	.9998
.8600	.8600	5.404	1.000	111.1	111.1	10.81	24,690	24,690	.9998
.8700	.8700	5.467	1.000	118.3	118.3	10.93	28,000	28,000	.9998
.8800	.8800	5.529	1.000	126.0	126.0	11.06	31,750	31,750	.9998
.8900	.8900	5.592	1.000	134.2	134.2	11.18	36,000	36,000	.9998
.9000	.9000	5.655	1.000	142.9	142.9	11.31	40,810	40,810	.9999
.9100	.9100	5.718	1.000	152.1	152.1	11.44	46,280	46,280	.9999
.9200	.9200	5.781	1.000	162.0	162.0	11.56	52,470	52,470	.9999
.9300	.9300	5.844	1.000	172.5	172.5	11.69	59,500	59,500	.9999
.9400	.9400	5.906	1.000	183.7	183.7	11.81	67,470	67,470	.9999
.9500	.9500	5.969	1.000	195.6	195.6	11.94	76,490	76,490	.9999
.9600	.9600	6.032	1.000	203.5	203.5	12.06	86,740	86,740	.9999
.9700	.9700	6.095	1.000	222.8	222.8	12.19	98,350	98,350	.9999
.9800	.9800	6.158	1.000	236.1	236.1	12.32	111,500	111,500	.9999
.9900	.9900	6.220	1.000	251.4	251.4	12.44	126,500	126,500	1.000
1.000	1.000	6.283	1.000	267.7	267.7	12.57	143,400	143,400	1.000

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Estructuras marítimas , Herrejón de la Torre Luis, ed. Limusa México, 1986.
- 2.- Puertos (En proceso de revisión y análisis) , Hernández de la Labra Fernando, UNAM, México, 1982.
- 3.- Textos para el proyecto del Centro Hidráulico Portuario, Japan International Cooperation Agency, Vol. 1, 2 y 3, México, 1986.
- 4.- Ingeniería de costas , Frías Armando, Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria, ed. Limusa, México, 1986.
- 5.- Tesis profesional UNAM, apuntes de apoyo para la asignatura "Ingeniería Marítima" que se imparte en la Facultad de Ingeniería UNAM, presentada por Lourdes Santillán Pérez, Luis C. Vazquez Cogovia y Ricardo Sánchez Cortés, México, 1982.
- 6.- Hidráulica Marítima (Manual de obras civiles), Comisión Federal de Electricidad, México, 1983.
- 7.- Costal engineering (Generation, propagation and influence of waves), Vol. 1 y 2, R. Silvester, Australia, 1986.
- 8.- Shore Protection Planing and Design Tead, Report 4, Army of Engineers, Costal Engineering, Reach Center, 1966.
- 9.- Recursos marinos, (Temas básicos), Cifuentes Juan Luis, ed. Trillas, México, 1981.