



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

‘ ‘ A R A G O N ’ ’

ESTUDIO DE LA SOBREELEVACION
DEL OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS
DEL PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

DORA LUZ AVILA ARZANI

SAN JUAN DE ARAGON, MEX.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

PAG.

1.	INTRODUCCION	1
2.	CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS	4
2.1	OLEAJE	4
2.1.1	OLEAJE NORMAL	4
2.1.2	OLEAJE EXTREMAL	9
2.2	MAREAS	9
2.2.1	MAREA ASTRONOMICA	9
2.2.2	MAREA DE TORMENTA	15
2.3	CONDICIONES BATIMETRICAS	22
3.	ESTUDIOS EN CANAL DE OLAS	24
3.1	EQUIPO DE MEDICION DE OLEAJE	24
3.2	EQUIPO DE MEDICION DE OVERTOPPING	25
3.3	SELECCION DE LA ESCALA DE LINEAS	27
3.3.1	CONDICIONES DE SIMILITUD	27
3.4	DESARROLLO EXPERIMENTAL	32
3.4.1	ENSAYOS DE SOBREELEVACION DEL OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS	32
3.4.2	ANALISIS DE RESULTADOS	56
	 APENDICE A	 75
	 APENDICE B	 91
	 APENDICE C	 95
	 REFERENCIAS	 99

1. INTRODUCCION

En los últimos años el puerto de Ensenada, B.C.N., ha sufrido problemas derivados de condiciones meteorológicas y oceanográficas extraordinarias (marejadas), que han dado como consecuencia la suspensión temporal de las operaciones del puerto y han ocasionado daños cuantiosos en mercancías, embarcaciones e instalaciones. El rompeolas que protege al puerto ha sufrido rebasamiento del oleaje durante estas marejadas.

El oleaje provocado por la marejada del año 1983, ref 1 (pp. - 4-7), levantó sobre el rompeolas el material de rezaga de la pedrrera ubicada junto a la subestación No. 5 (ver fig 1), que -- fue depositado en el mar a 500 m aproximadamente al oeste de dicha subestación por falta de recursos económicos por parte de la Superintendencia del Puerto.

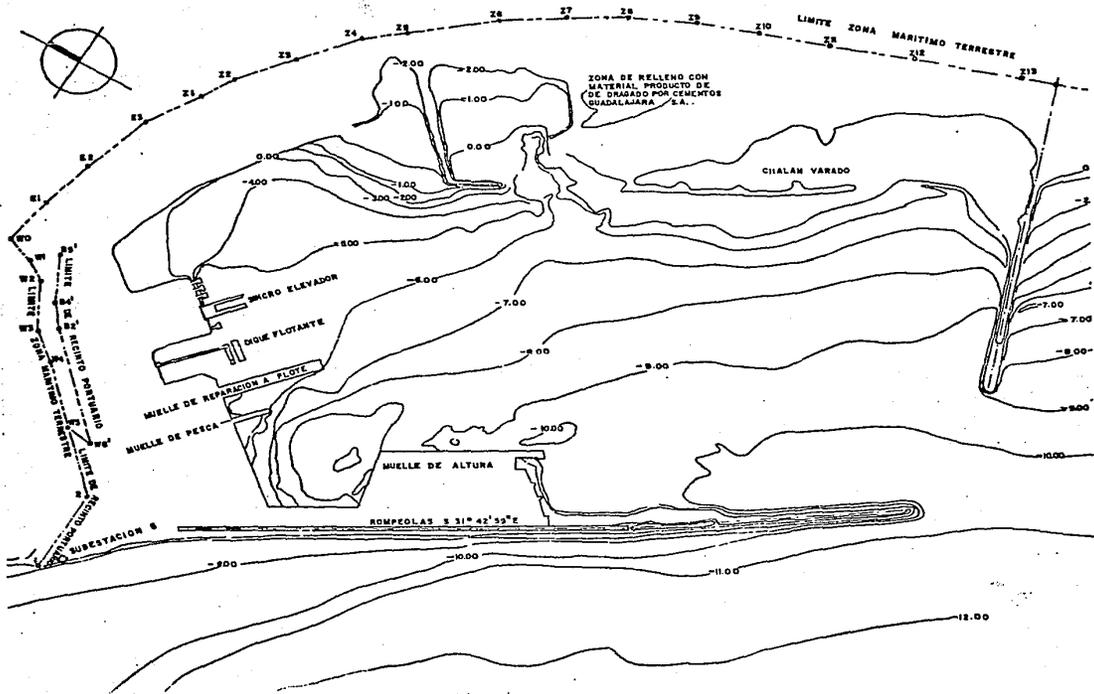
El depósito de material de rezaga en el interior del puerto de bido a la acción del oleaje provocado por las marejadas, así - como la sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas, han motivado que la Dirección General de Obras Marítimas realice una - serie de estudios experimentales, con objeto de definir el proyecto de protección más adecuado para resolver estos problemas. Estos estudios fueron realizados por el Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas con la asesoría del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Los estudios experimentales realizados quedaron integrados en los siguientes capítulos:

1. Características oceanográficas
2. Estudios en canal de olas
3. Estudios en modelo de fondo móvil
4. Estudios en modelo de fondo fijo
5. Conclusiones y recomendaciones

Los objetivos de este trabajo de tesis consisten en describir los estudios experimentales y los resultados obtenidos en los dos primeros capítulos arriba anotados. Por este motivo de aquí en adelante tan sólo se hará mención de los tópicos tratados en estos capítulos.

Para la realización de estos capítulos se procedió primeramente a recopilar y analizar la información de diversas fuentes en relación a los aspectos: oceanográficos, meteorológicos, topohidrográficos y de material playero. Posteriormente se procedió a la ejecución de ensayos en el canal de olas para determinar la sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas (ver fig 1).



2. CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS

2.1 Oleaje

Para estudiar el problema de la sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.N. mediante un modelo hidráulico, se requiere de la simulación en éste de los oleajes normal y extremal. Por este motivo a continuación se hace una descripción de los análisis realizados para conocer las características fundamentales de estos oleajes.

2.1.1 Oleaje normal

En el apéndice A se muestra el análisis estadístico realizado para determinar las características del oleaje normal. De este análisis se puede concluir:

1. Los periodos más frecuentes están comprendidos en el rango de 5 a 7 seg.
2. Las alturas de ola más frecuentes están comprendidas entre el rango de 0.50 a 1.50 m.
3. Las direcciones del oleaje más frecuentes y que inciden sobre la zona de estudio son la oeste y la suroeste.
4. La altura de ola significativa para el oleaje local es de 2.16 m y para el oleaje distante es de 3.13 m (ver tablas 1 a 4).

E N S E N A D A , B . C . N .
 (TIEMPO DE ACCION DEL REGIMEN ANUAL)
 (ZONA 14)

DIRECCION	TIEMPO DE ACCION (Hr)	%
N	81	2.66
N 30° E	.27	0.89
N 60° E	24	0.79
E	18	0.59
S 60° E	37	1.21
S 30° E	45	1.48
S	34	1.12
S 30° W	37	1.22
S 60° W	143	4.70
W	1013	33.30
N 60° W	1274	41.88
N 30° W	192	6.31
CALMAS	117	3.85
T O T A L	3042	100.00

TABLA No. 2

E N S E N A D A, B. C. N.
(PORCENTAJE DE ACCION ANUAL)
(ZONA 14)

DIRECCION	R. A N G O D E A L T U R A D E O L A (m)										TOTAL
	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	
N	0.14	0.79	0.96	0.55	0.17	0.10	0.03	--	0.03	--	2.77
N 30° E	0.07	0.10	0.55	0.14	0.07	--	--	--	--	--	0.93
N 60° E	0.10	0.34	0.27	0.10	--	--	--	--	--	--	0.81
E	0.10	0.07	0.10	0.14	0.03	0.10	0.07	--	--	--	0.61
S 60° E	0.17	0.31	0.27	0.14	0.10	0.14	0.03	0.03	0.03	0.03	1.25
S 30° E	0.07	0.31	0.55	0.24	0.21	0.10	0.07	--	--	--	1.55
S	0.03	0.10	0.51	0.38	0.10	0.03	--	--	--	--	1.15
S 30° W	0.21	0.41	0.48	0.14	0.03	--	--	--	--	--	1.27
S 60° W	0.21	1.26	1.85	1.23	0.31	0.03	--	--	--	--	4.89
W	1.61	4.90	13.85	9.33	3.52	1.06	0.21	0.07	0.03	--	34.58
N 60° W	1.98	6.80	15.73	12.96	4.03	1.50	0.41	0.14	--	--	43.55
N 30° W	0.56	1.16	2.97	1.30	0.24	0.24	0.03	0.03	--	--	6.53
TOTAL ---											99.89

TABLA No. 3

E N S E N A D A . B . C . N .
(PORCENTAJE DE ACCION ANUAL)
(ZONA 14)

DIRECCION	RANGOS DE PERIODOS DE OLA (SEG)										
	≤ 5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	≥ 22	T O T A L
N	1.940	0.559	0.066	-	-	-	-	-	0.033	0.066	2.664
N 30° E	0.759	0.132	-	-	-	-	-	-	-	-	0.891
N 60° E	0.594	0.165	-	0.033	-	-	-	-	-	-	0.792
E	0.363	0.099	0.132	-	-	-	-	-	-	-	0.594
S 60° E	0.462	0.297	0.264	0.099	0.033	0.033	-	-	-	0.033	1.221
S 30° E	0.462	0.306	0.231	0.231	0.066	0.066	0.033	-	-	-	1.395
S	0.462	0.429	0.166	-	0.033	-	-	-	-	0.033	1.123
S 30° W	0.793	0.297	0.066	0.066	-	-	-	-	-	-	1.222
S 60° W	2.277	1.419	0.528	0.198	0.066	0.099	0.033	-	-	0.099	4.719
W	7.952	10.989	2.673	1.056	0.495	0.066	-	-	-	0.198	33.429
N 60° W	3.430	3.926	3.003	1.056	0.297	0.033	-	-	-	0.297	42.042
N 30° W	4.092	1.650	0.297	0.132	0.033	-	-	-	-	0.132	6.386
T O T A L	33.587	39.268	7.426	2.871	1.023	0.297	0.066	-	0.033	0.858	96.428

P O R C E N T A J E D E C A L M A S = 3 . 4 8 3 %

TABLA No 4

2.1.2 Oleaje extremal

Se determinaron las alturas y períodos de ola significativa utilizando el método de Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB), el cual se describe en la ref 2 (pp. 27-2.13). Se analizaron 4 ciclones que se presentaron entre los años 1965 a 1978. Estos arrojaron un total de 8 datos de oleaje; 4 alturas de ola y 4 períodos de ola. El criterio de selección de los ciclones consistió en escoger aquellos que pasaron cerca del puerto de Ensenada, B.C.N. y que contaron con información meteorológica. Los ciclones analizados por orden cronológico fueron: Emily, Hyacinth, Doreen y Norman (ver fig No. 2).

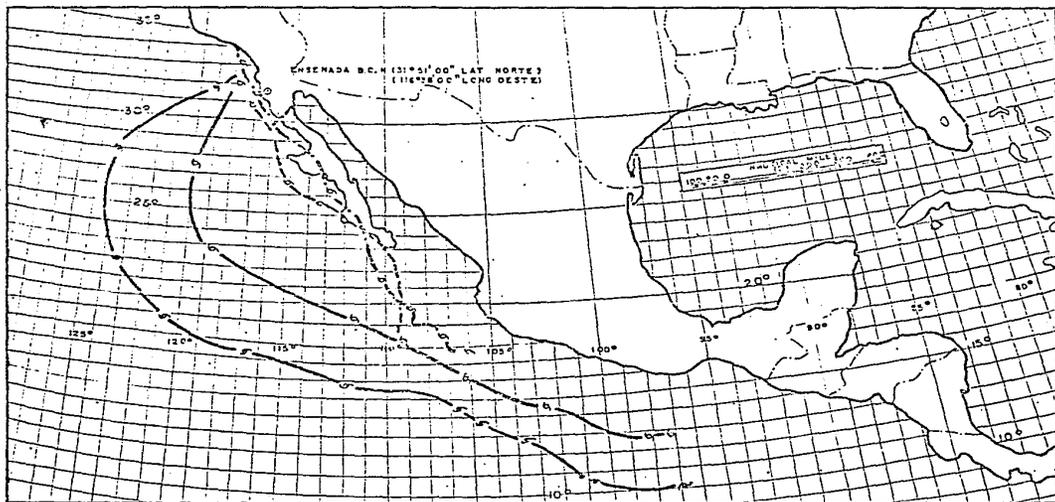
La aplicación del método al caso del puerto de Ensenada, B.C.N. se ilustra con detalle en el apéndice B y conduce a los resultados que se muestran en las tablas 5 a 8.

2.2 Mareas

2.2.1 Marea astronómica

En cuanto a las características de la marea astronómica (ref 3 pp. 1-3) se puede resumir que es del tipo mixta semidiurna cuyos niveles significativos son los siguientes:

Pleamar máxima registrada	1.487 m
Nivel de pleamar media superior	0.781 m
Nivel de pleamar media	0.577 m



NOMBRE	FECHA
— KATHERINE	17 SEP 1963
— EMILY	30 AGO AL 4 DE SEP 1968
— FVACINTH	29 ABO AL 6 DE SEP 1972
— DOREEN	DEL 13 AL 18 DE ABO 1977
— NORMAN	30 AGO AL 6 DE SEP 1979

FIG N° 2

ENSENADA B.C.M.
ESTUDIO DE LA SEÑAL ELEVACION DEL OCEANO
TRAYECTORIA CICLONICAS

PREDICCIÓN DE OLEAJE CICLÓNICO EN EL PUERTO DE ENSENADA, B.C.

CICLÓN EMILLY OCURRIDO
EL DÍA 3 DE SEPTIEMBRE DE 1965

FECHA DE LA CARTA	3	
HORA DE LA CARTA	12:00	18:00
ESPACIO ENTRE ISOBARAS (EN GRADOS DE LATITUD)	2.30	
LATITUD EN GRADOS	27.40	
VELOCIDAD DEL VIENTO GEOS- TRÓFICO (m/seg.)	14.00	
U/Vg	0.59	
VELOCIDAD REAL DEL VIENTO (m/seg.)	8.19	
LONGITUD DEL FETCH (Km)	482.85	
DURACION (Hr)	6:00	
DISTANCIA DE DECAIMIENTO (Km)	355.20	
T_F (seg.)	4.83	5.50
H_F (m)	1.05	1.50
DURACION MINIMA (Hr)	6:00	
T_D / T_F	3.20	
H_D / H_F	0.046	
T_D (seg.)	15.46	
H_D (m)	0.05	
VELOCIDAD MAXIMA EN EL CENTRO DEL CICLÓN (m/seg.)	16.06	

TABLA No. 5

PREDICCIÓN DE OLEAJE CICLÓNICO EN EL PUERTO DE ENSENADA, B.C.

CICLÓN HYACINTH OCURRIDO

EL DÍA 3 Y 5 DE SEPTIEMBRE DE 1972

FECHA DE LA CARTA	3	5
HORA DE LA CARTA	12:00	12:00
ESPACIO ENTRE ISOBARAS (EN GRADOS DE LATITUD)	1.50	
LATITUD EN GRADOS	29.00	
VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO (m/seg.)	30.00	
U/Vg	0.59	
VELOCIDAD REAL DEL VIENTO (m/seg.)	17.55	
LONGITUD DEL FETCH (Km)	821.40	
DURACION (Hr)	48:00	
DISTANCIA DE DECAIMIENTO (Km)	499.50	
T _F (seg.)	11.06	9.90
H _F (m)	4.15	5.60
DURACION MINIMA (Hr)	48:00	
T _D / T _F	1.63	
H _D / H _F	0.27	
T _D (seg.)	18.02	
H _D (m)	1.13	
VELOCIDAD MAXIMA EN EL CENTRO DEL CICLON (m/seg.)	20.83	

TABLA No. 6

PREDICCIÓN DE OLEAJE CICLÓNICO EN EL PUERTO DE ENSENADA, B.C.

CICLÓN DOREN OCURRIDO
EL DÍA 16 DE AGOSTO DE 1977

FECHA DE LA CARTA	16	
HORA DE LA CARTA	00:00	12:00
ESPACIO ENTRE ISOBARAS (EN GRADOS DE LATITUD)	1.70	
LATITUD EN GRADOS	28.80	
VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO (m/seg.)	25.00	
U/Vg	0.58	
VELOCIDAD REAL DEL VIENTO (m/seg.)	14.63	
LONGITUD DEL FETCH (Km)	543.90	
DURACION (Hr)	12:00	
DISTANCIA DE DECAIMIENTO (Km)	444.00	
T_F (seg.)	8.81	8.20
H_F (m)	3.47	4.00
DURACION MINIMA (Hr)	12.00	
T_D/T_F	2.11	
H_D/H_F	0.14	
T_D (seg.)	18.63	
H_D (m)	0.48	
VELOCIDAD MAXIMA EN EL CENTRO DEL CICLON (m/seg.)	25.83	

TABLA No. 7

PREDICCIÓN DE OLEAJE CICLÓNICO EN EL PUERTO DE ENSENADA, B.C.

CICLÓN NORMAN OCURRIDO
EL DÍA 5 DE SEPTIEMBRE DE 1987

FECHA DE LA CARTA	5	
HORA DE LA CARTA	00:00	12:00
ESPACIO ENTRE ISOBARAS (EN GRADOS DE LATITUD)	2.35	
LATITUD EN GRADOS	26.50	
VELOCIDAD DEL VIENTO GEOS- TRÓFICO (m/seg.)	15.00	
U/Vg	0.58	
VELOCIDAD REAL DEL VIENTO (m/seg.)	8.77	
LONGITUD DEL FETCH (Km)	355.20	
DURACION (Hr)	12:00	
DISTANCIA DE DECAIMIENTO (Km)	388.50	
T_F (seg.)	5.85	5.30
H_F (m)	1.50	1.50
DURACION MINIMA (Hr)	12:00	
T_D/T_F	2.81	
H_D/H_F	0.06	
T_D (seg.)	16.43	
H_D (m)	0.10	
VELOCIDAD MAXIMA, EN EL CENTRO DEL CICLÓN (m/seg.)	20.83	

Nivel medio del mar	0.000 m
Nivel de media marea	- 0.003 m
Nivel de bajamar media	- 0.572 m
Nivel de bajamar media inferior	- 0.822 m
Bajamar mínima registrada	- 1.409 m
Altura mínima registrada	- 2.902 m

de donde se puede observar que la amplitud de marea astronómica referida al nivel de bajamar media inferior es de 1.603 m.

2.2.2 Marea de tormenta

Una tormenta es una perturbación atmosférica caracterizada por fuertes vientos, los cuales pueden ir acompañados de precipitación. Existen dos tipos de tormenta: una tormenta originada en el trópico llamada tormenta tropical y una tormenta que es el resultado del contacto de un frente frío y uno caliente llamada tormenta extra tropical.

Algunas tormentas son llamadas huracanes o ciclones cuando los máximos vientos sostenidos son de alrededor de 120 km por hora. Los huracanes están bien definidos y tienen un patrón de viento caracterizado por girar alrededor del mismo (que no necesariamente es el centro geométrico). El ojo del huracán es un área de baja presión atmosférica y vientos ligeros. La presión atmosférica y la velocidad del viento se incrementan conforme se van alejando del centro u ojo hasta llegar a una zona de máximo viento. De la zona de máximo viento a la periferia del huracán

la presión continúa en aumento y la velocidad del viento decrece. Las tormentas extratropicales que ocurren a lo largo de -- las costas del noroeste de nuestro país y Estados Unidos son -- llamados Nortes. Un norte típico consiste en un centro de baja presión y los vientos giran alrededor de este centro, pero los patrones de viento son menos sistemáticos que los asociados con los huracanes.

Los efectos más sensibles que provoca el paso de un ciclón cerca de la costa son los siguientes:

- a. Una sobre elevación del nivel del mar denominado marea de tormenta.
- b. Formación de oleaje con características ciclónicas.

2.2.2.1 Factores que generan una marea de tormenta

La condición para la cual el nivel del agua empezará a ascender depende de varios factores, que se relacionan con:

- a. Características y comportamiento de la tormenta
- b. Hidrografía de la cuenca
- c. Estado inicial del sistema
- d. Otros efectos que pueden ser considerados exteriores al sistema.

Existen adicionalmente factores de naturaleza diferente a los -- citados que pueden ser responsables del cambio de niveles del --

mar durante el paso de una tormenta y son los siguientes:

- a. Las mareas astronómicas
- b. Vientos directos
- c. Gradiente de presión atmosférica
- d. La rotación de la tierra
- e. La lluvia
- f. Las olas superficiales y las asociadas con la sobreelevación
- g. Efectos del movimiento de la tormenta

2.2.2.2 Predicción de la marea de tormenta

Para realizar el cálculo de la predicción de la marea de tormenta existen diversos métodos. En esta tesis el método que se utilizó para el cálculo de la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta es el que se presenta en la ref 4 (pp. -- 104-106). En este método la sobreelevación del nivel del mar está formada por dos partes: una debida al gradiente de presión atmosférica y otra debida a la velocidad del viento y se caracterizan de la manera siguiente:

a. Sobreelevación estática

Si una zona de la superficie del mar se encuentra sujeta a una baja de presión atmosférica, y en toda la superficie de agua -- que la rodea no hay disminución de ésta, se presentará en esta última superficie de agua un incremento del nivel del mar debido a la diferencia de presiones.

El incremento del nivel del mar (N_s) puede ser calculado con la

siguiente expresión:

$$N_s = 0.99\Delta p \quad (2.1)$$

Donde:

N_s - Es la sobreelevación estática (cm)

Δp - Es la diferencia de presión entre el centro del ciclón y la parte del mismo (mb).

b. Sobreelevación dinámica

Cuando sopla el viento sobre la superficie del mar origina una fuerza tangencial (ζ) a ésta que se expresa como

$$\zeta = \gamma_s^2 \rho_a U^2 \quad (2.2)$$

dónde

ζ - Es la fuerza tangencial a la superficie del mar por efecto del viento (ton/m^2)

U - Velocidad del viento (m/s)

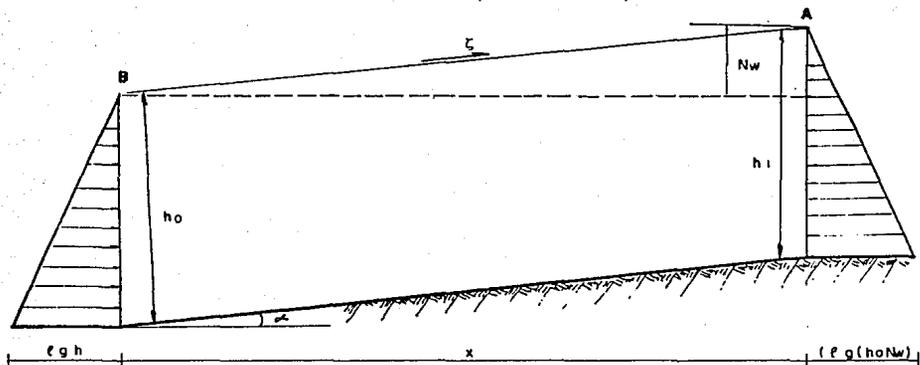
ρ_a - Masa específica del aire ($\text{ton/seg}^2/\text{m}^4$)

γ_s^2 - Coeficiente de la resistencia de la superficie del mar en función de la velocidad del viento. Para velocidades de viento mayores de 7 m/seg se puede usar un valor constante dado por

$$\gamma_s^2 = (2.4 + 0.5) \times 10^{-3} \quad (2.3)$$

Cuando actúa esta fuerza tangencial en un área de mar con profundidad (h) y es afectada por un fetch (F), puede presentarse un gradiente en la superficie del mar que provoque un incremento del nivel del mar (N_w), en la zona de sotavento, como se muestra en la fig 3.

FIGURA 3. Balance entre el nivel del mar y el viento:



El balance de las presiones de agua entre A y B (ver fig 3) conduce a una sobreelevación dinámica dada por

$$N_w = 4.8 \times 10^{-5} U^2 \cot \alpha \ln \frac{h_0}{h_1} \quad (2.4)$$

donde

- N_w - Aumento del nivel del mar en la zona de sotavento debido a la velocidad del viento (cm)
- α - Pendiente del fondo del mar
- h_0 - Profundidad en barlovento
- h_1 - Profundidad en sotavento

2.2.2.3 Procedimiento de cálculo de la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta.

Para calcular la sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta utilizando este método se procede de la siguiente manera:

1. Para el ciclón en estudio, consultar en la ref 5 la máxima -

velocidad del viento, denominándola $(U_{10})_{\text{máx}}$.

- Determinar la latitud de la posición del ciclón en estudio y con este valor consultar la tabla No. 9 para encontrar el valor de la constante " C_1 ".
- Calcular la velocidad del viento gradiente máximo a partir de:

$$(U_{10})_{\text{máx}} = C_1 (U_{\text{grad}})_{\text{máx}}$$

- Calcular la diferencia de presión con la siguiente ecuación

$$(U_{\text{grad}})_{\text{máx}} = \frac{\Delta p}{e p}$$

válida cuando (U_{grad}) es máx. Cumpliéndose en estas condiciones que $r_0 = r$ y debiéndose confirmar que

$$(r \Omega \sin \psi) \ll \frac{\Delta p}{p} \frac{r_0}{r} e^{r_0/r}$$

Donde

- r - Distancia del centro del ciclón a un punto determinado
- r_0 - Distancia del centro del ciclón al punto de máxima velocidad del viento
- Ω - Velocidad angular de la tierra igual a 7.29×10^{-5} (seg^{-1}).
- ψ - Latitud
- e - Base de logaritmos neperianos igual a 2.72
- Δp - Diferencia de presiones entre el centro del ciclón y la parte exterior del mismo.

La ecuación de Meyer permite calcular la diferencia de presión

nes y está dada por

$$p = p_c + \Delta p e^{-r_0/r}$$

Donde

p_c - Presión del centro del ciclón

p - Presión a una distancia determinada del centro del ciclón.

LATITUD	C_1
10°	0.51
20°	0.60
30°	0.64
40°	0.67
50°	0.70

Tabla No. 9

Si no se cumple con la condición anterior, habrá que calcular la diferencia de presiones con la ecuación general siguiente

$$(U_{grad})_{\max} = (r\Omega \operatorname{sen}\psi)^2 + \frac{\Delta p}{e} \frac{r_0}{r} e^{-r_0/r} - r\Omega \operatorname{sen}\psi$$

5. Calcular la sobre-elevación estática mediante la ec (2.1)
6. Con ayuda de los planos batimétricos calcular la pendiente del fondo del mar
7. Si la pendiente no es uniforme calcular por tramos la sobre-elevación dinámica con la velocidad del punto 1 y con ayuda de la ec (2.4). Siguiendo el procedimiento anterior con los

cliciones analizados para el puerto de Ensenada, B.C.N., y to mando en cuenta la marea astronómica, se llegó a los resulta dos indicados en la tabla No. 10 para la sobreelevación total del nivel del mar referida al nivel de bajamar media inferior.

En el apéndice C se ilustra la aplicación del método citado a la tormenta Emily.

SOBRE ELEVACION DEL MAR POR MAREA DE TORMENTA Y MAREA ASTRONOMICA

TORMENTA	LOCALI ZACION	FECHA	HORA	V(m/s)	Ns(m)	Nw(m)	Nm(m)	Nt(m)
EMILLY	26°N115 3°W	3-IX-1963	12 y 18	16.06	0.27	0.109	1.601	1.98
HYACINTH	28.5°N124.3°W	5-IX-1963	12	20.83	0.36	0.144	1.601	2.10
DOREEN	26.4°N113.2°W	16-VIII-1977	0.00y12	25.83	0.55	0.222	1.601	2.57
NORMAN	28.0°N120°.6W	5-IX-1978	0.00y12	20.83	0.36	0.144	1.601	2.10
S/N	—	29-IV-1985	—	28.88	0.70	0.28	1.601	2.60

S/N INFORMACION PROPORCIONADA POR LA RESIDENCIA DE OBRAS DEL PUERTO DE ENSENADA B.C.N.

TABLA N° 10

2.3 Condiciones batimétricas

En base a levantamientos batimétricos periódicos es posible lo calizar las zonas de erosión y de depósito, se cuenta con levan

tamientos batimétricos realizados en mayo de 1983 y mayo de - -
1984 por la Superintendencia de las Obras del Puerto y que se -
muestran en los planos E-S-1-84 y E-S-5-83 respectivamente.

La batimetría de mayo de 1983 abarca la zona exterior del puer-
to en toda la longitud del rompeolas hasta la profundidad - -
-18.00 m. La batimetría de mayo de 1984 abarca la misma zona -
del levantamiento de 1983, sólo que hasta la profundidad -12.50
m.

En los ensayos en canal de olas se estudió el problema de la so-
breelevación del oleaje sobre los tramos críticos del rompeolas.
Para cada tramo y para cada levantamiento se tomó la correspon-
diente pendiente promedio del fondo del mar.

3. ESTUDIOS EN CANAL DE OLAS

Los estudios experimentales que aquí se describen se refieren a los ensayos en canal de olas, realizados con objeto de determinar la solución más adecuada desde el punto de vista hidráulico, del problema de sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas. Así como la realización de los experimentos necesarios para la revisión de la estabilidad de los elementos de protección del rompeolas y del espigón del Gallo. Los ensayos respectivos se llevaron a cabo en el canal de olas del Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas de la S.C.T.

El canal de olas tiene una longitud de 50 m, un ancho de 0.60 m y una profundidad de 1.20 m y está dotado con un sistema de alimentación de agua y de desagüe. El equipo de generación de oleaje es de tipo monocromático y produce olas hasta de 20 cm y períodos que varían entre 1.13 y 1.70 seg.

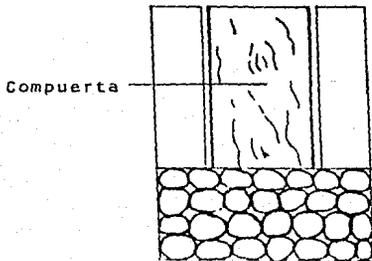
3.1 Equipo de medición de oleaje

Para la medición del oleaje se utilizó un ológrafo que consta de un registrador (el cual tiene un ajuste de velocidad de rotación del papel registrador, de tal manera que operando el sistema de mando, se obtienen diferentes velocidades), un amplificador, un oscilador de 1 kilociclo/seg y un caballete equipado con un sensor de oleaje.

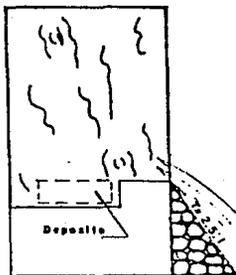
El sensor de oleaje está formado por dos varillas de acero inoxidable de 30 cm de longitud, con un diámetro de 5 mm y separadas entre sí un centímetro (centro a centro). Estas varillas - al sumergirse en el agua cierran un circuito en el cual la variación de la resistencia eléctrica, permite en forma indirecta medir la variación del nivel de agua (oleaje).

3.2 Equipo de medición de overtopping

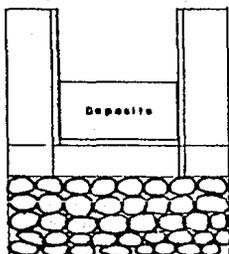
Es importante que al realizar ensayos para medición del overtopping se cuide que las olas incidentes no estén afectadas por la reflexión de la paleta del generador de oleaje. Para esto - se necesita calcular previamente el tiempo efectivo de medición del overtopping sin la acción de las olas reflejadas por la paleta del generador. Teniendo en mente esta idea en el Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas de la S.C.T. se diseñó exprefeso un sistema de medición cuyas - características se muestran en forma esquemática en la figura - No. 3. a, b, c.



3. a) Vista frontal



3.b), Vista lateral



3.c), PLANTA

FIGURA 3. Equipo para la medición del overtopping

El sistema está integrado por una pared vertical de madera colocada a lo largo de la corona del rompeolas y por un depósito -- instalado en la parte posterior de éste. La pared vertical tiene una parte móvil que funciona como compuerta y que permite el paso del oleaje y el almacenamiento del agua en el depósito. Esta cantidad de agua permite determinar el overtopping que sobrepasa la corona del rompeolas.

3.3 Selección de la escala de líneas

Para que un modelo hidráulico pueda reproducir los fenómenos naturales con una confiabilidad aceptable es necesario utilizar una escala adecuada. Para tal fin es importante definir las fuerzas predominantes en el fenómeno a estudiar y que se simulen en el modelo.

En el caso en estudio las fuerzas más importantes resultan ser las gravitacionales. Por lo tanto el criterio de similitud entre prototipo y modelo es el de Froude. Considerando lo anterior y tomando en cuenta las características de los oleajes y niveles del mar a reproducir en el modelo, así como las recomendaciones de la bibliografía utilizada para la realización de ensayos en modelos de este tipo, ref 6 (pp. 7.1-7.3), se seleccionó una escala de líneas de 1:50 tanto horizontal como vertical.

A continuación se indica la forma como se obtuvieron las diferentes relaciones de escala y los valores de las principales magnitudes en el modelo, tomando en consideración la ley de similitud de Froude y la escala de líneas seleccionada.

3.3.1 Condiciones de similitud

3.3.1.1 Escalas

Dado que las ondas a reproducir son gravitacionales, el parámetro de similitud a utilizar será el de Froude. Esta ley de si-

similitud establece que los números de Froude en prototipo y modelo deberán ser iguales. El número de Froude se define como

$$\text{Número de Froude} = F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3.1)$$

Donde

V = Velocidad

g = Aceleración de la gravedad

L = Longitud característica

La condición a cumplir es

$$F_m = F_p \quad (3.2)$$

donde los subíndices "m" y "p" significan modelo y prototipo respectivamente.

Sustituyendo (3.1) en (3.2) se obtiene

$$\frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} \quad (3.3)$$

Puesto que se puede considerar que la aceleración de la gravedad "g" es la misma tanto en modelo como prototipo

$$g_m = g_p$$

la ec (3.3) queda

$$\frac{V_m}{\sqrt{L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{L_p}} \quad (3.4)$$

Como el modelo debe ser no distorsionado, la escala de líneas horizontal y vertical debe ser la misma y la ec (3.4) queda

$$\frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\frac{L_p}{L_m}} \quad (3.5)$$

Si por otra parte llamamos escala "e" a cualquier magnitud homologa del prototipo dividida entre la del modelo se tendrá de -- (3.5) que

$$V_e = \sqrt{L_e} \quad (3.6)$$

La celeridad de una onda de gravedad está dada por

$$c = \frac{g \pi}{2} \tanh \frac{2 \pi d}{L} \quad (3.7)$$

o bien

$$c^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \left[\frac{2 \pi d}{L} \right] \quad (3.8)$$

En el modelo la celeridad debe variar en la misma proporción -- que en prototipo, lo cual implica que

$$\left[\tanh \frac{2 \pi d}{L} \right]_p = \left[\tanh \frac{2 \pi d}{L} \right]_m \quad (3.9)$$

en esa forma

$$\left[\tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right] \right]_e = 1$$

y se obtiene que

$$d_e = L_e$$

De acuerdo con lo anterior la escala de celeridades utilizando la ec (3.7) vale

$$C_e = T_e \quad (3.10)$$

y según la ec (3.8)

$$C_e = \sqrt{L_e} \quad (3.11)$$

Por tanto sustituyendo (3.10) en (3.11) queda

$$T_e = \sqrt{L_e} \quad (3.12)$$

Las escalas de áreas y volúmenes se expresan como

$$A_e = L_e^2 \quad (3.13)$$

$$V_e = L_e \quad (3.14)$$

La escala del peso específico del fluido queda expresada como

$$\gamma_e = \frac{\gamma_p}{\gamma_m} \quad (3.15)$$

Por tratarse de agua salada en el prototipo γ_p vale 1.028 ton/m^3 y por utilizar agua dulce en el modelo $\gamma_m = 1.0 \text{ ton/m}^3$, por lo que según la ec (3.15) se tiene que

$$\gamma_e = \frac{\gamma_p}{\gamma_m} = 1.028$$

De acuerdo con lo anterior el peso específico del material de los elementos en el modelo está dado por la siguiente expresión:

$$\gamma_{Sm} = \frac{[\gamma_s - \gamma]_p}{\gamma_e} + \gamma_m \quad (3.16)$$

Si para la roca $\gamma_s = 2.60 \text{ ton/m}^3$, el peso específico correspondiente al modelo utilizando la ec (3.16) será

$$\gamma_{Sm} = \frac{2.6 - 1.028}{1.028} + 1.0 = 2.53 \text{ ton/m}^3$$

De la definición de pesos específicos, la escala de pesos queda definida por

$$W_e = \gamma_{Se} \psi_e \quad (3.17)$$

* FUENTE: Plano de proyecto denominado "ENSENADA, B.C. RECONSTRUCCION Y PROLONGACION, ROMPEDOAS", No. E y L 80.44, elaborado por el Depto. de Estudios Básicos de la D.G.O.M. en mayo de 1984.

Sustituyendo valores se tiene

$$\gamma_{Se} = \frac{\gamma_{Sp}}{\gamma_{Sm}} = \frac{2.60}{2.53} = 1.027$$

Sustituyendo (γ_{Se}) en la ec (3.17) se tiene que

$$W_e = 1.027 (L_e^3) \quad (3.18)$$

El peso de los elementos del modelo estará dado por la siguiente ecuación

$$W_m = \frac{W_p}{1.027 L_e^3} \quad (3.19)$$

En función de la ley de similitud de Froude y la escala de líneas de 1:50 seleccionada previamente, se obtuvieron las siguientes relaciones de escalas:

Escala de líneas horizontales y verticales

$$L_e = L_{e_v} = L_{e_H} = 50$$

Escala de longitudes de ola

$$L_e = 50$$

Escala de periodos de ola

$$T_e = L_e^{1/2} = 7.071$$

Escala de celeridades de ola

$$C_e = L_e^{1/2} = 7.071$$

Escala de velocidades orbitales

$$V_e = L_e^{1/2} = 7.071$$

Escala de alturas de ola

$$H_e = L_e = 50$$

Escala de overtopping por unidad de ancho

$$q_e = L_e^{3/2} = 353.55$$

Escala de pesos

$$W_e = 1.027 L_e^3 = 128\ 375$$

3.4 Desarrollo experimental

El estudio experimental en modelo se dividió en dos etapas. En la primera se trató de determinar la sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas, concepto conocido como overtopping y en la segunda se realizó la revisión de la estabilidad de los elementos de protección del rompeolas.

3.4.1 Ensayos de sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas

Con estos ensayos se trató de obtener información de la cantidad de agua que pasa sobre el rompeolas para las condiciones de oleaje que se pueden presentar en el puerto de Ensenada, B.C.N.

Las variables consideradas en estos ensayos fueron:

- a. Pendiente del fondo del mar
- b. Talud del rompeolas por el lado del mar y por el lado del puerto
- c. Elevación de la corona
- d. Características del oleaje (longitud, altura y período)
- e. Nivel del mar
- f. Tipo de sección transversal del rompeolas
- g. Presencia o ausencia de obras de protección para evitar el problema de la sobreelevación del oleaje
- h. Condiciones batimétricas en el lado exterior del puerto

3.4.1.1 Metodología y condiciones de ensayo

La metodología que se siguió para la realización de los ensayos

consistió en:

a. Construcción del modelo

Seleccionada la sección del rompeolas por representar y las condiciones batimétricas correspondientes, se determinó una pendiente media capaz de reproducir en el canal de olas la dirección de los rayos de oleaje de los diagramas de refracción respectivos. Manejándose en el caso del puerto de Ensenada, B.C.N. las condiciones batimétricas de los años 1983 y 1984 como alternativas separadas.

b. Definición del nivel de ensayo

Los niveles del mar considerados en los ensayos fueron los resultantes de la marea astronómica y de la suma de ésta con la marea de tormenta. Los niveles considerados fueron:

b.1. Nivel de bajamar media inferior (0.00 m)

b.2. Nivel + 1.30 arriba del N.B.M.I.

b.3. Nivel + 2.60 arriba del N.B.M.I.

c. Tiempo de medición

Con el fin de que las mediciones del overtopping no estuvieran afectadas por la reflexión del oleaje ocasionado por la paleta del generador, se determinaron los tiempos efectivos de medición para cada uno de los ensayos realizados. Estos tiempos efectivos se determinaron para cada conjunto de variables que definen un ensayo.

d. Medición de la sobreelevación del oleaje

Teniendo el periodo de ola y el nivel del mar fijos para

una condición batimétrica determinada, se sometieron las secciones en estudio a varias alturas de ola incidente.

Para cada ensayo en particular se midió el valor de la altura de ola en el tiempo efectivo. También en este lapso de tiempo se accionaba la compuerta del sistema de medi--ción de overtopping y se contaba el número de olas que incidían sobre el rompeolas. De esta manera se tenía un registro del volumen de agua que pasaba sobre el rompeolas en función del número de olas incidentes. Terminado el - tiempo efectivo de medición se paraba el ensayo y se me--día el volumen captado en la parte posterior del rompeolas. Esta operación se repitió de acuerdo a los incrementos --graduales de la altura de ola a los que se sometieron las secciones ensayadas.

3.4.1.2 Método de análisis de los datos obtenidos en los experi--mentos en el canal de oleaje regular

Para efectuar una adecuada medición de la sobreelevación del --oleaje sobre un rompeolas, a partir de ensayos experimentales - en tanque y canal de olas, es necesario generar un oleaje alea--torio. Es común que en los Laboratorios de Hidráulica Marítima de nuestro país no se cuente con equipos que generen oleaje - -aleatorio. Es por este motivo que la sobreelevación del oleaje se mide por lo general con base a ensayos experimentales con --oleaje regular. Aquí se presenta un procedimiento teórico que permite introducir en las mediciones experimentales así obteni--das la aleatoriedad del oleaje.

Un tren de oleaje presenta la característica de que en él la altura de ola, el período de la ola y el nivel promedio del mar - son variables aleatorias. Con el fin de simplificar el método que aquí se presenta se considera a la altura de ola como la única variable aleatoria dentro del tren de oleaje. Esto permite utilizar la distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh para explicar la aleatoriedad de la altura de ola en un tren de oleaje. Esta distribución se puede expresar matemáticamente mediante la ec

$$P(H) = \frac{\pi}{2} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}} \right)^2 \right] \quad (3.20)$$

donde:

H - altura del oleaje

\bar{H} - altura de ola media del tren de oleaje

En la fig 4 se muestra en forma gráfica la distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh.

Si en la fig 4 se selecciona un valor determinado de H como por ejemplo el H', la probabilidad de que se presente un oleaje mayor o igual a H', está dado por el área sombreada. En forma matemática esta probabilidad se puede expresar como

$$P(H \geq H') = P(H') = \int_{H'}^{\infty} p(H) dH = \exp \left(-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H'}{\bar{H}} \right)^2 \right) \quad (3.21)$$

Esta expresión matemática se encuentra tabulada en la tabla 11 para valores de H'/H que varían de 0.1 en 0.1 hasta 4.

En la fig 5 se muestra nuevamente la distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh y en ella se fija un intervalo -

$\Delta\left(\frac{H}{H}\right)$ definido por los puntos extremos $\frac{H_1}{H}$ y $\frac{H_2}{H}$. En este intervalo la marca de clase está dada por el punto $\frac{H_1 + H_2}{H}$. Si se obtiene $P(H_1)$ y $P(H_2)$ mediante la tabla 11, su diferencia $\Delta P = P(H_2) - P(H_1)$ está dada por el área achurada de la fig 5. Si el intervalo $\Delta\left(\frac{H}{H}\right)$ seleccionado es muy pequeño, esta área achurada se puede interpretar como la probabilidad de ocurrencia de una altura de ola igual a la dada por la marca de clase del intervalo seleccionado.

Estos sencillos conceptos de probabilidad se pueden aplicar a las mediciones de la sobreelevación del oleaje sobre un rompeolas sujeto a oleaje regular para introducirles la aleatoriedad de la altura de ola.

En los ensayos con oleaje regular se selecciona un período de ola constante y se varía el valor de la altura de ola. Para cada valor de la altura de ola se mide el volumen de agua que rebasa al rompeolas y el número de olas que inciden sobre éste en el tiempo de medición considerado. Para esto es necesario colocar un recipiente adjunto al rompeolas que mediante una compuerta permita almacenar el agua que rebasa al rompeolas. El volumen de agua captado en el recipiente se debe dividir entre el ancho del recipiente y entre el número de olas incidentes para obtener el volumen por unidad de longitud que pasa sobre el rompeolas y que es provocado por una ola incidente (m^3/m ola). Este volumen así obtenido se debe dividir entre el período de la ola considerado para obtener el gasto, q , por unidad de longitud que rebasa el rompeolas ($m^3/m/seg$).

Procediendo de esta manera se obtiene para cada valor del periodo de ola fijado varias parejas de valores de H y q . Los valores de la altura de ola medidos en los ensayos, H , se transformarán a alturas de ola en aguas profundas, H_0 , por medio de la expresión

$$H_0 = H/K_S \quad (3.22)$$

donde:

H_0 - altura de olas en aguas profundas

H - altura de ola medida en el modelo

K_S - coeficiente de fondo (función del periodo y la profundidad)

Asimismo, las parejas de valores de H_0 y q en el modelo se transformarán a prototipo utilizando la siguiente ecuación:

$$q_p = L_e^{3/2} q_m$$

donde

q_p = overtopping en prototipo

L_e = escalas de líneas

q_m = overtopping de modelo

Finalmente de todo este desarrollo se obtendrá para cada periodo de olas considerado una curva que relacione H_0 con q y que es del tipo de la ilustrada en la fig 6.

No debe olvidarse hasta aquí que los valores de H medidos en un ensayo (tres o cuatro valores) representan tan solo unos cuantos valores de altura de ola de la infinidad de éstas que pueden

H/\bar{H}	$P(H)$	H/\bar{H}	$P(H)$	H/\bar{H}	$P(H)$	H/\bar{H}	$P(H)$
0.0	1.0000	1.0	0.4559	2.0	0.0432	3.0	0.00085
0.1	0.9922	1.1	0.3866	2.1	0.0313	3.1	0.00053
0.2	0.9691	1.2	0.3227	2.2	0.0223	3.2	0.00032
0.3	0.9318	1.3	0.2652	2.3	0.0157	3.3	0.00010
0.4	0.8819	1.4	0.2144	2.4	0.0108	3.4	0.00011
0.5	0.8217	1.5	0.1708	2.5	0.0074	3.5	0.00007
0.6	0.7537	1.6	0.1339	2.6	0.0050	3.6	0.00004
0.7	0.6806	1.7	0.1033	2.7	0.00326	3.7	0.000021
0.8	0.6049	1.8	0.0788	2.8	0.00211	3.8	0.000012
0.9	0.5293	1.9	0.0587	2.9	0.00135	3.9	0.000007
1.0	0.4559	2.0	0.0432	3.0	0.00085	4.0	0.000004

TABLA 11. Valores de $P(H)$ calculados mediante la ec. (3.21)

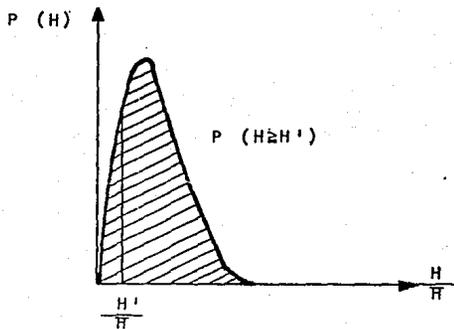


FIGURA 4. DISTRIBUCION DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE RAYLEGH.

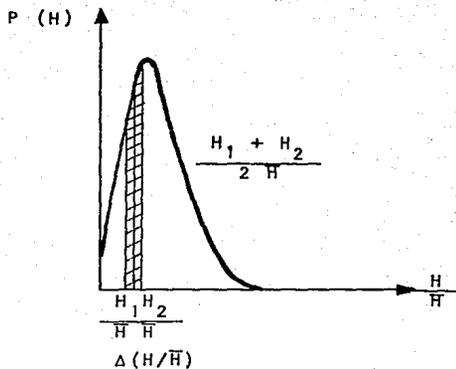


FIGURA 5. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA ALTURA DE OLA DE LA MARCA DE CLASE DEL INTERVALO CONSIDERADO.

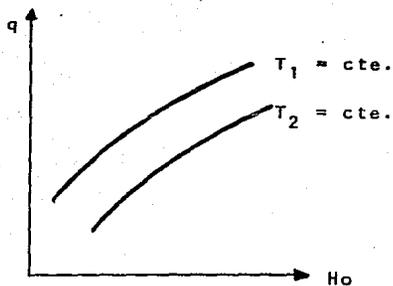


FIGURA 6. Resultados de la medición experimental de la sobreelevación del oleaje sobre un rom-
peolás sujeto a oleaje uniforme.

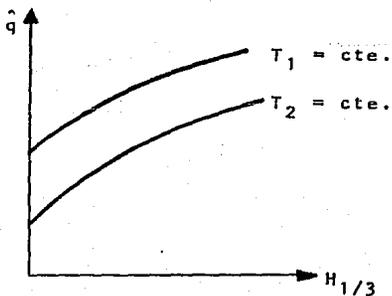


FIGURA 7. Sobreelevación del oleaje sobre un rom-
peolás sujeto a un oleaje aleatorio.

presentarse en un tren de olas y que esta infinidad de alturas de ola tiene una variación totalmente aleatoria definida por la distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh.

Esta distribución es función de \bar{H} que es difícil de predecir. Por esto se procederá a usar una relación entre \bar{H} y la altura de ola significativa, $H_{1/3}$, que es característica en un tren de oleaje y que está dada por

$$\bar{H} = H_{1/3}/1.6 \quad (3.23)$$

De esta manera se puede obtener \bar{H} ya que la variación de $H_{1/3}$ se puede intuir en forma casi precisa para los oleajes que se generan en las costas de nuestro país.

Para introducir la aleatoriedad de las alturas de ola de un tren de olas en los valores de H_0 medidos experimentalmente se debe proceder como se indica a continuación:

- a. Se toma un valor de $H_{1/3}$ y mediante la ec 3.23 se obtiene \bar{H}
- b. La distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh se barrerá en forma total tomando intervalos constantes de H_0/\bar{H} con valor de 0.2. En cada intervalo se tomará como marca de clase su valor medio (de 0 a 0.2 la marca de clase será 0.1, de 0.2 a 0.4 la marca de clase será 0.3 y así sucesivamente).
- c. Para cada marca de clase se determinará el valor de H_0 procediendo en la forma siguiente

Marca de clase

Valor de H_0

0.1

$$H_0 = 0.1\bar{H}$$

0.3

$$H_0 = 0.3\bar{H}$$

etc

etc

d. Para cada valor de H_0 así determinado se obtiene el correspondiente valor de q mediante la fig 6.

e. Para cada uno de los valores de H_0/\bar{H} de los extremos del intervalo (0 y 0.2, 0.2 y 0.4, etc) se obtendrá el valor de $--P(H_0)$ mediante la tabla 11. Su diferencia, $\Delta P(H_0)$, representa la probabilidad de ocurrencia de la altura de ola de la marca de clase del intervalo considerado.

f. Se procede a multiplicar para cada intervalo considerado el valor de q y $\Delta P(H_0)$ obteniéndose la sobre-elevación del oleaje esperada en ese intervalo.

La sobre-elevación del oleaje esperada sobre el rompeolas sujeto a un tren de oleaje aleatorio se obtendrá de sumar la sobre-elevación del oleaje esperada de todos los intervalos considerados hasta barrer en forma total la función de distribución de densidad de probabilidades de Rayleigh.

Procediendo de esta forma se tendrá al final de cuentas un valor de \hat{q} dado por

$$\hat{q} = \sum q_i \Delta P(H_{0i}) \quad (3.24)$$

y que está ligada a un valor de $H_{1/3}$ determinado. Si se fijan

distintos valores de $H_{1/3}$ y se repite este procedimiento, finalmente se obtendrá para un período de olas prefijado una serie de parejas de valores de $H_{1/3}$ y q que darán origen a una curva como la indicada en la fig 7.

3.4.1.3 Aplicación del método de análisis a los resultados de los ensayos del puerto de Ensenada, B.C.N.

Con el objeto de mostrar la forma de análisis de los experimentos del puerto de Ensenada, B.C.N., a continuación se aplicará el procedimiento anterior al ensayo No. 1 teniéndose los siguientes resultados

- En la tabla No. 12 se presentan las características de la sección ensayada.
- En la tabla No. 13 se tiene:
 - En la columna No. 1 se tiene el valor de la excentricidad del batidor en cm. Esta excentricidad nos permite variar la altura de ola del modelo.
 - En la columna No. 2, se tiene el correspondiente valor de la altura de ola del modelo en centímetros.
 - En la columna No. 3 se indican los volúmenes de agua en (ml) que sobrepasan al rompeolas asociados al número de olas que inciden y que se indican en la columna No. 4 de la misma tabla.
 - En la columna No. 5 se indican los volúmenes de la columna No. 3 en m^3 .
- Con los datos de las columnas Nos. 1 y 2 (tabla No. 13) se realizó el ajuste de una recta con estas parejas de

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS.

ENSAYO No. 1

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION	0 + 440	ESCALA	1:50
TALUD	2.5 : 1	BATIMETRIA	1983
MATERIAL	ROCA	ALTURA OLA (m)	VARIABLE
NIVEL DEL MAR	+ 2.60		
ELEVACION DE CORONA	+ 6.40		
PERIODO	12 SEG		
PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA	8 a 10 TON.		

SECCION DEL MODELO:

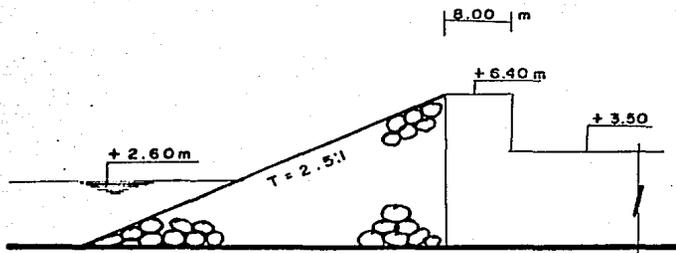


TABLA No. 12

valores, utilizando para ello el método de mínimos cuadrados llegándose a la siguiente ecuación para el ensayo No. 1.

$$H = 3.27 + 0.34 e$$

Donde:

H altura de ola en modelo en cm

e excentricidad del batidor en cm

- Se calculó el coeficiente de fondo " K_s " que para el caso en particular resultó tener un valor aproximado de 0.98. Con este valor, la altura de ola medida en el modelo se transformó a altura de ola en aguas profundas, utilizando para esto la siguiente ecuación:

$$H_o = \frac{3.27 + 0.34 e}{0.98}$$

- Para cada uno de los datos de la columna No. 1 (tabla No. 13), y la ecuación anterior se calcularon las alturas de ola en aguas profundas, resultando de esta manera la columna No. 6.
- En la columna No. 7 se presenta la relación del volumen captado con respecto al número de olas incidentes en el tiempo efectivo de medición.
- En la columna No. 8 se presenta el resultado de dividir la columna No. 7 entre 29 centímetros (ancho del sistema de medición) y entre 1.7 seg que es el periodo de ola ensayada.

PUERTO DE ENSENADA, B. C. N.

REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO N° 1 PERIODO 12 seg SECCION 0 + 440 BATIMETRIA 1983

TALUD 2.5 : 1 NIVEL DEL MAR + 2.6 ELEVACION DE CORONA + 6.4

Excentricidad (cm)	Altura de ola (cm)	Volumen de agua (ml)	N° de olas	Volumen (m ³)	H ₀ (cm)	q cm ³ /ola	q cm ³ /cm seg	H ₀ (m)	q m ³ /m seg
10	6.5	430.0 450.0	12	0.43x10 ⁻³ 0.45x10 ⁻³	6.81	430/12 450/12	0.73 0.76	3.41	0.026 0.027
12	7.0	860.0 660.0	12	0.86x10 ⁻³ 0.66x10 ⁻³	7.50	860/12 660/12	1.45 1.11	3.75	0.051 0.039
14	8.0	3535.0 2515.0	12	3.535x10 ⁻³ 2.515x10 ⁻³	8.19	3535/12 2515/12	5.97 4.25	4.10	0.211 0.150
16	9.0	4020.0 3320.0	10	4.020x10 ⁻³ 3.320x10 ⁻³	8.89	4020/10 3320/10	8.15 6.73	4.45	0.288 0.238
18	9.5	5435.0 4145.0	10 9	5.435x10 ⁻³ 4.145x10 ⁻³	9.58	4145/9 5435/10	9.34 11.02	4.79	0.330 0.389
20	10.0	6740.0 6020.0	9 8	6.740x10 ⁻³ 6.020x10 ⁻³	10.27	6740/9 6020/8	15.19 15.26	5.14	0.536 0.539
22	11.0	6230.0 6315.0	7	6.230x10 ⁻³ 6.315x10 ⁻³	10.97	6230/7 6315/7	18.05 18.30	5.49	0.637 0.646
24	11.5	5900.0 5800.0	6	5.900x10 ⁻³ 5.800x10 ⁻³	11.66	5900/6 5800/6	19.60	5.83	0.692 0.692
26	12.0	5730.0 5970.0	6	5.730x10 ⁻³ 5.970x10 ⁻³	12.35	5730/6 5070/6	19.37 20.18	6.18	0.684 0.712
28	12.5	6285.0 5530.0	5	6.285x10 ⁻³ 5.530x10 ⁻³	13.05	6285/5 5530/5	27.28 22.43	6.53	0.963 0.792
30	13.0	6780.0 6610.0	5	6.780x10 ⁻³ 6.610x10 ⁻³	13.74	6780/5 6610/5	27.50 26.81	6.87	0.971 0.946

TABLA No. 13

ENSAYO No. 1

NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS + 6.40 m.

NIVEL DEL MAR + 2.60 m.

TALUD 2.5 : 1

SECCION 0 + 440

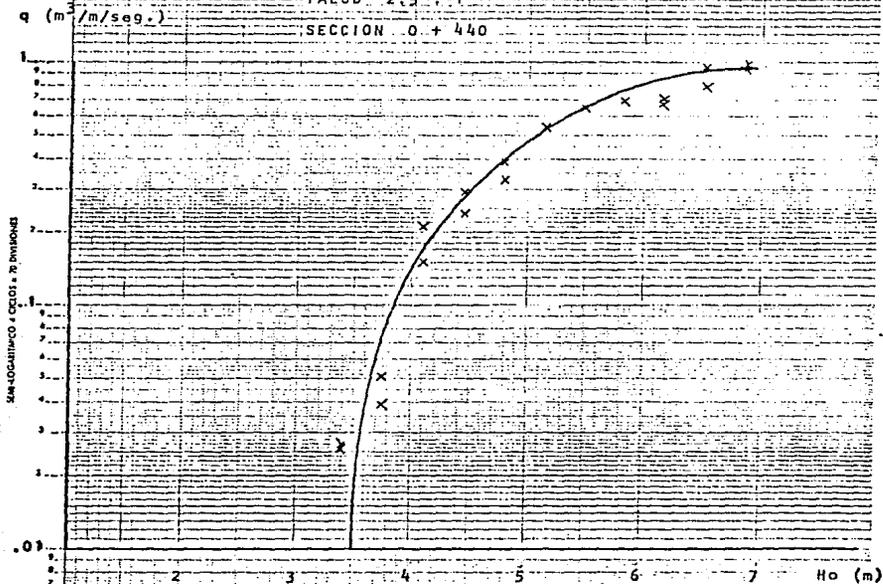


FIGURA No. 8

- En la columna No. 9 se tiene el valor de la altura de ola en aguas profundas del prototipo calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$H'_{o} = L_e H_o ; \text{ por ejemplo Si } H_o = 6.81 \text{ cm}$$

$$H'_{o} = 50 (0.0681) = 3.41 \text{ m}$$

Donde

H'_{o} Altura de ola en aguas profundas (prototipo)

L_e Escala de líneas

H_o Altura de ola en aguas profundas (modelo) columna No. 6

- En la columna No. 10 se tiene el valor de la sobreelevación del oleaje por unidad de longitud del rompeolas en prototipo, la cual resulta de multiplicar la columna No. 7 por la escala del overtopping, que para el presente caso tiene el valor de 353.55.

- En la fig No. 8 se grafican los pares de valores de las columnas No. 9 y 10.

En las tablas Nos. 14 a 18 se presenta el cálculo del overtopping esperado para diversos valores de altura de ola significativa usando la distribución de Rayleigh.

La descripción del procedimiento es el siguiente.

En las columnas Nos. 1 y 2 se presentan los valores de las relaciones de H/\bar{H} y ΔP (tomando intervalos de 0.2 en 0.2 para H/\bar{H}) que corresponden a la distribución de Rayleigh y que han sido obtenidos de la tabla No. 11.

- La columna No. 3 muestra el valor de las alturas de ola

PUERTO DE ENSENADA , B. C. N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE
LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 1

SECCION 0 + 440

H/ \bar{H}	Δp	H (m)	q	q Δp
0.1	0.03090	0.19	---	---
0.3	0.08720	0.56	---	---
0.5	0.12820	0.94	---	---
0.7	0.14880	1.32	---	---
0.9	0.14900	1.69	---	---
1.1	0.13320	2.07	---	---
1.3	0.10830	2.44	---	---
1.5	0.08050	2.82	---	---
1.7	0.05540	3.20	0.010	0.000554
1.9	0.03530	3.57	0.034	0.001200
2.1	0.02090	3.95	0.130	0.002717
2.3	0.01150	4.32	0.231	0.002657
2.5	0.00585	4.70	0.350	0.002048
2.7	0.00284	5.08	0.485	0.001377
2.8	0.00126	5.45	0.590	0.000743

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

SUMA: 0.011296 m³/m/seg.

PUERTO DE ENSENADA, B. C. N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE
LA SOBREELEVACION DEL OLAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 1

SECCION 0 + 440

H/H	Δp	H (m)	q	q Δp
0.1	0.03090	0.22	---	---
0.3	0.08720	0.66	---	---
0.5	0.12820	1.10	---	---
0.7	0.14880	1.53	---	---
0.9	0.14900	1.97	---	---
1.1	0.13320	2.41	---	---
1.3	0.10830	2.85	---	---
1.5	0.08050	3.29	0.010	0.000805
1.7	0.05540	3.72	0.056	0.003202
1.9	0.03530	4.16	0.190	0.006707
2.1	0.02090	4.60	0.320	0.006688
2.3	0.01150	5.04	0.470	0.005405
2.5	0.00585	5.48	0.600	0.003510
2.7	0.00284	5.91	0.710	0.002016
2.9	0.00126	6.35	0.840	0.001058

$H_{1/3} = 3.5$ m

SUMA: 0.029291

TABLA No. 15

PUERTO DE ENSENADA , B. C. N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE
LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 1

SECCION 0+ 440

H/H	Δp	H(m)	q	$q\Delta p$
0.1	0.03090	0.25	---	---
0.3	0.08720	0.75	---	---
0.5	0.12820	1.25	---	---
0.7	0.14880	1.75	---	---
0.9	0.14900	2.25	---	---
1.1	0.13320	2.75	---	---
1.3	0.10830	3.25	0.010	0.001083
1.5	0.08050	3.75	0.063	0.005072
1.7	0.05540	4.25	0.215	0.011011
1.9	0.03530	4.75	0.365	0.012885
2.1	0.02090	5.25	0.515	0.010764
2.3	0.01150	5.75	0.675	0.007763
2.5	0.00585	6.25	0.810	0.004739
2.7	0.00284	6.75	0.950	0.002698
2.9	0.00126	7.25	1.000	0.001260

$H_{1/3} = 4 \text{ m}$

SUMA: 0.058175 $\text{m}^3/\text{m}/\text{seg.}$

PUERTO DE ENSENADA, B. C. N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE
LA SOBREELEVACION DEL OLAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 1

SECCION 0 + 440

H/ \bar{H}	Δp	H(m)	q	q Δp
0.1	0.03090	0.28	---	---
0.3	0.08720	0.84	---	---
0.5	0.12820	1.41	---	---
0.7	0.14880	1.97	---	---
0.9	0.14900	2.53	---	---
1.1	0.13320	3.09	0.010	0.001332
1.3	0.10830	3.66	0.046	0.004981
1.5	0.08050	4.22	0.210	0.16905
1.7	0.05540	4.78	0.370	0.020498
1.9	0.03530	5.34	0.560	0.019768
2.1	0.02090	5.91	0.720	0.015048
2.3	0.01150	6.47	0.880	0.010120
2.5	0.00585	7.03	1.000	0.005850
2.7	0.00284	7.59	1.000	0.002840
2.9	0.00126	8.16	1.000	0.001260

$H_{1/3} = 4.5$ m

SUMA: 0.099000 m³/m/seg

PUERTO DE ENSENADA , B. C. N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE OLAS DE
LÁ SOBREELEVACION DEL OLAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 1

SECCION 0 + 440

H/ \bar{H}	Δp	H(m)	q	q Δp
0.1	0.03090	0.31	---	---
0.3	0.08720	0.94	---	---
0.5	0.12820	1.57	---	---
0.7	0.14880	2.19	---	---
0.9	0.14900	2.82	---	---
1.1	0.13320	3.44	0.024	0.003197
1.3	0.10830	4.07	0.170	0.018411
1.5	0.08050	4.70	0.350	0.028175
1.7	0.05540	5.32	0.560	0.031024
1.9	0.03530	5.95	0.720	0.025416
2.1	0.02090	6.57	0.910	0.019019
2.3	0.01150	7.20	1.000	0.011500
2.5	0.00585	7.83	1.000	0.005850
2.7	0.00284	8.45	1.000	0.002840
2.9	0.00126	9.08	1.000	0.001260

$H_{1/3} = 5 \text{ m}$

SUMA: 0.146692 $\text{m}^3/\text{m}/\text{seg.}$

del tren de oleaje considerado, el cual se calcula a -- partir del conocimiento de la altura de ola media de -- acuerdo a la relación $\bar{H} = H_{1/3}/1.6$; por ejemplo si $H_{1/3} = 3$ m (tabla No. 14) resulta que $\bar{H} = 1.88$ m y con ayuda de la columna No. 1, primer renglón $H/\bar{H} = 0.1$, resulta que $H = 0.1 \times 1.88 = 0.19$ m. Realizando las operaciones indicadas para cada valor de la relación H/\bar{H} de las tablas Nos. 14 al 18 se pueden calcular todos los valores asentados en la columna No. 3.

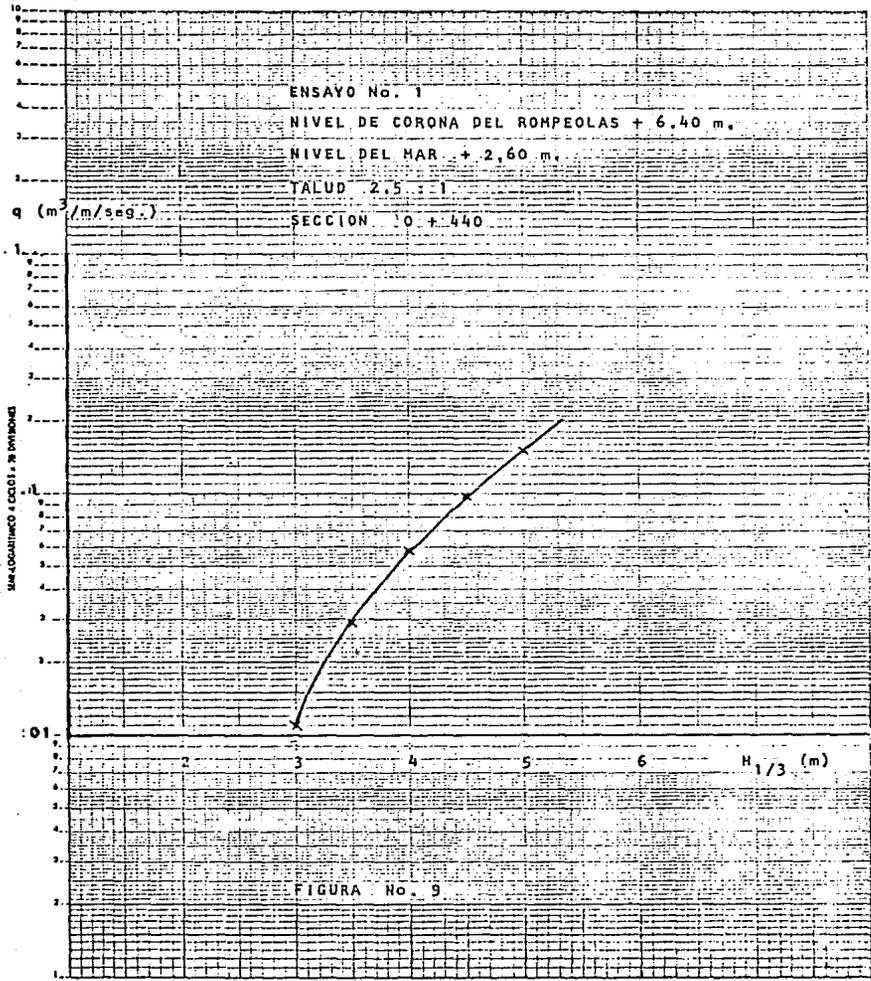
- Con los valores de la columna No. 3 se entra en la gráfica de la fig No. 6 y se obtienen los valores de q indicados en la columna No. 4.

- En la columna No. 5 se muestra el resultado de multiplicar la columna No. 2 por la columna No. 4.

- Los valores de la columna No. 5 se suman con el fin de tener el valor de la sobreelevación del oleaje esperado para la altura de ola significativa del tren de oleaje considerado. Para el ensayo No. 1 y los trenes de ola considerados se llegó a los siguientes resultados:

Altura de oleaje significativa	Sobreelevación del Oleaje esperado
$H_{1/3}$ (m)	q ($m^3/m/s$)
3.0	0.011296
3.5	0.029291
4.0	0.058175
4.5	0.099000
5.0	0.146692

- Finalmente la pareja de valores de $H_{1/3}$ contra q (so-



breelevación del oleaje) se grafican resultando una curva como la mostrada en la fig No. 9. Esta muestra la relación de las alturas de ola significativa de los trenes de oleaje considerados que pudieran incidir en el rompeolas del puerto de Ensenada, B.C.N. y que provocarían diversos valores de sobreelevación del oleaje.

3.4.2 Análisis de resultados

Las curvas de la fig 4 pueden obtenerse para el rompeolas en las condiciones para las cuales se presenta el problema de sobreelevación del oleaje y para las condiciones fijadas por la posible solución adoptada para resolver el problema. La comparación entre ambas curvas permitirá establecer la bondad de las soluciones planteadas.

La altura de ola significativa utilizada en el análisis corresponde a la mayor altura de ola significativa de los ciclones analizados en el capítulo 2 e incrementada en un 5% resultando un valor de $H_{1/3} = 4.50$ m. Esta altura se consideró como si actuara frente al rompeolas (criterio conservador) para determinar con ayuda de los resultados de los ensayos el valor del overtopping. Esto se consideró debido a que en el puerto de Ensenada, B.C.N. se carece de registros de oleaje. Es necesario comentar que el análisis realizado es válido para la altura de ola significativa considerada ($H_{1/3} = 4.50$ m). Sin embargo, si se quisiera analizar al rompeolas para otras condiciones de oleaje sería necesario consultar los resultados de los ensayos que se --

realizaron en el canal de olas.

La comparación de las curvas del tipo de la fig 4 (fig 4 a 13) permiten concluir para las secciones del rompeolas ensayadas lo siguiente:

Sección 0+440 (Batimetría 1983)

Las características de esta sección corresponden a las mostradas en la fig No. 10 y los ensayos realizados se resumen en la tabla No. 19.

Como se puede observar en la tabla No. 19 el ensayo No. 1 que corresponde a la condición del rompeolas con características actuales es el que presenta la máxima sobreelevación del oleaje, con un valor de $q = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ (overtopping por unidad de longitud del rompeolas) y los ensayos No. 8' y 10 que corresponden a las condiciones de elevación de la corona del rompeolas por medio de un paramento de 3 m de alto y 2 m de ancho, y colocación de un rompeolas sumergido con elevación de la corona a la + 2.60 m en la parte anterior del rompeolas con elevación a la + 6.40 -- respectivamente.

El valor del overtopping para el ensayo No. 8' fue de - - - $q = 0.0096 \text{ m}^2/\text{s}$ y para el ensayo No. 10 de $q = 0.008 \text{ m}^2/\text{s}$, valores que son prácticamente los mismos.

En general se observa que conforme aumenta el período de ola aumenta el valor de la sobreelevación del oleaje. La misma observación se puede hacer para el nivel del mar.

Sección 0 + 800 (Batimetría 1983)

Las características de esta sección corresponden a las mostradas en la fig No. 11 y los parámetros de los ensayos realizados se resumen en la tabla No. 20, en este caso se observa la misma tendencia que en la sección anterior, es decir, la máxima sobre elevación se presenta para la condición del rompeolas con características actuales y se va teniendo mejoría cuando se sobre eleva la corona del rompeolas o cuando se coloca un rompeolas sumergido en la parte anterior del rompeolas.

El valor de la máxima sobre elevación del oleaje para esta sección corresponde a la condición actual del rompeolas y tiene un valor de $q = 0.083 \text{ m}^2/\text{s}$. El valor de mínima sobre elevación corresponde al caso de sobre elevación de la corona por medio de un paramento de 3 m de alto y 2 m de ancho y conduce a un valor de $q = 0.0047 \text{ m}^2/\text{s}$. En esta sección se siguió observando el aumento de la sobre elevación del oleaje conforme aumenta el periodo de la ola.

Sección 0 + 800 (Batimetría 1984)

Las características de esta sección corresponden a las mostradas en la fig No. 12 y los parámetros de los ensayos realizados se resumen en la tabla No. 21. En este caso la máxima sobre elevación corresponde a la condición de elevación de la corona del rompeolas a la + 6.40 (condición actual) y tiene un valor de $q = 0.044 \text{ m}^2/\text{s}$ (ensayo No. 19). La mínima sobre elevación ocurre para los ensayos Nos. 21 y 24 que corresponden a las condicio--

nes de sobreelevación de la corona del rompeolas por medio de un paramento vertical de 3 m de alto y 2 m de ancho y a la de mantener la elevación de la corona del rompeolas a la + 6.40, - anteponiendo en la parte anterior un rompeolas sumergido con elevación de corona a la + 2.60 respectivamente.

Sección 0 + 440 (Batimetría 1984)

Las características de esta sección corresponden a las mostradas en la fig No. 13 con parámetros de los ensayos realizados que se resumen en la tabla No. 22.

En este caso se observa el mismo comportamiento de la sección que para los casos anteriores, para las condiciones de máxima y mínima sobreelevación del oleaje.

El máximo valor de la sobreelevación corresponde al ensayo No. 25 (rompeolas condiciones normales) y tiene un valor de $q = 0.0775 \text{ m}^2/\text{s}$. El mínimo valor corresponde al ensayo No. 28 (elevación de la corona del rompeolas en 3 m) y tiene un valor de $q = 0.0027 \text{ m}^2/\text{s}$.

Sección 1 + 200 (Batimetría 1984)

Las características de esta sección corresponde a las mostradas en la fig No. 14 con parámetros de ensayo que se resumen en la tabla No. 23.

En esta sección se observa que para las condiciones actuales --

rompeolas se tiene un valor de overtopping de $q = 0.0682 \text{ m}^2/\text{s}$ - (valor máximo) y se reduce hasta un valor de $q = 0.0096 \text{ m}^2/\text{s}$ -- anteponiendo un rompeolas sumergido con elevación de corona a la + 2.60 (ensayo No. 33). Sin embargo, se llega a evitar la sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas para las siguientes condiciones:

- a. Sobreelevando la corona del rompeolas con un enrocamiento de 3 m y colocando un recargue de piedra con taludes 2:1 ó 2.5:1 (ensayos No. 34 y 35) en la parte anterior del rompeolas.
- b. Sobreelevando la corona del rompeolas con un enrocamiento de 2 m y colocando un recargue de piedra con talud - 2.5:1 en la parte anterior del rompeolas.

Sección 0 + 440 (Batimetría 1983)

Los ensayos No. 40 y 41 se realizaron para verificar los ensayos No. 1 y 7 y notándose que no existe diferencia significativa en ambos resultados.

Sección 1 + 200 (Batimetría 1983)

Las características de esta sección corresponden a las mostradas en la fig No. 15 las características de los ensayos realizados se resumen en la tabla No. 23.

En este caso se observa el valor máximo de sobreelevación del

oleaje para las condiciones actuales del rompeolas siendo - - -
q = 0.0614 m²/s y notándose que para las condiciones de los in-
cisos a y b de la sección 1 + 200 (batimetría 1984) se vuelven
a presentar. Ensayos No. 46, 47 y 48 para este caso.

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS.

ENSAYO No. 5

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION	0 + 440	ESCALA	1:50
TALUD	2.5 : 1	BATIMETRIA	1983
MATERIAL	ROCA	ALTURA OLA (m)	VARIABLE
NIVEL DEL MAR	1.30		
ELEVACION DE CORONA	6.40		
PERIODO	12 SEG		
PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA	8 a 10 TON.		

SECCION DEL MODELO:

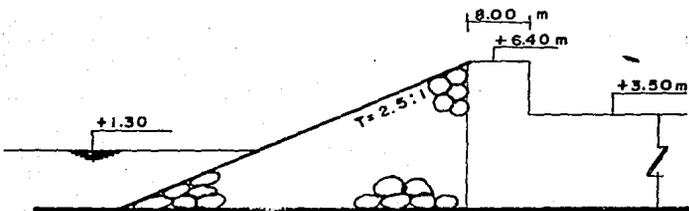


FIGURA No. 10

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B. C. N.
 BATIMETRIA 1983
 SECCION O+440

$$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$$

ENSAYO	q_p (m ² /seg)	T_p (seg)	NIVEL DEL MAR	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS SUMERGIDO
1	0.100	12	+ 2.60	+ 6.40	---
2	0.076	14	+ 2.60	+ 6.40	---
3	0.038	10	+ 2.60	+ 6.40	---
4	0.010	8	+ 2.60	+ 6.40	---
5	0.035	12	+ 1.30	+ 6.40	---
6	0.019	12	N.B.M.I.	+ 6.40	---
7	0.050	12	+ 2.60	+ 7.40	---
8	0.027	12	+ 2.60	+ 8.40	---
8'	0.0096	12	+ 2.60	+ 9.40	---
9	0.0210	12	+ 2.60	+ 6.40	N.B.M.I.
10'	0.008	12	+ 2.60	+ 6.40	+ 2.60

TABLA No. 19

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.

REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS.

ENSAYO No. 11

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION 0 + 800

ESCALA 1:50

TALUD 2.5 : 1

BATIMETRIA 1983

MATERIAL ROCA

ALTURA OLA (m) VARIABLE

NIVEL DEL MAR + 2.60

ELEVACION DE CORONA 6.40

PERIODO 12 SEG

PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA 8 a 10 TON.

SECCION DEL MODELO

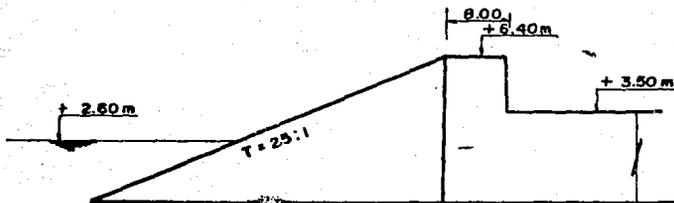


FIGURA No. 11

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B. C. N.

BATIMETRIA 1983

SECCION 0+800

$$H_{1/3} = 4.50\text{m}$$

ESAYO	q_p (m ² /seg)	T_p (seg)	NIVEL DEL MAR	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORONA DEL ROM- PEOLAS SUMERGIDO
11	0.083	12	+ 2.60	+ 6.40	---
12	0.036	12	+ 2.60	+ 7.40	---
13	0.0081	12	+ 2.60	+ 8.40	---
14	0.0047	12	+ 2.60	+ 9.40	---
15	0.0043	8	+ 2.60	+ 6.40	---
16	0.0020	8	+ 2.60	+ 7.40	---
17	0.0260	12	+ 2.60	+ 6.40	N.B.M. I
18	0.0150	12	+ 2.60	+ 6.40	+ 2.60

TABLA No. 20

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 19

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION	0 + 800	ESCALA	1:50
TALUD	2.5 : 1	BATIMETRIA	1984
MATERIAL	ROCA	ALTURA OLA (m)	VARIABLE
NIVEL DEL MAR	+ 2.60		
ELEVACION DE CORONA	6.40		
PERIODO	12 SEG		
PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA	8 a 10 TON.		

SECCION DEL MODELO:

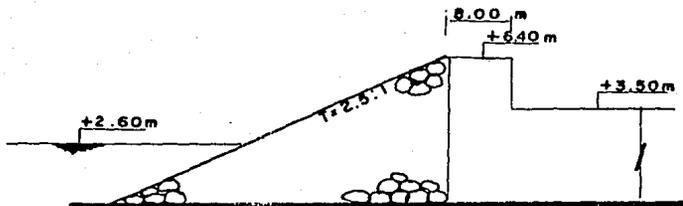


FIGURA No. 12

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, R. C. N.

BATIMETRIA 1984

SECCION 0+800

$$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$$

ENSAYO	q_p (m ² /seg)	T_p (seg)	NIVEL DEL MAR	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS SUMERGIDO
19	0.044	12	+ 2.60	+ 6.40	---
20	0.0336	12	+ 2.60	+ 7.40	---
21	0.0130	12	+ 2.60	+ 8.40	---
22	0.0046	12	+ 2.60	+ 9.40	---
23	0.0270	12	+ 2.60	+ 6.40	N.B.M.I.
24	0.0100	12	+ 2.60	+ 6.40	+ 2.60

TABLA No.21

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS.

ENSAYO No. 25

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION 0 + 440

ESCALA 1:50

TALUD 2.5 : 1

BATIMETRIA 1984

MATERIAL ROCA

ALTURA OLA (m) VARIABLE

NIVEL DEL MAR + 2.60

ELEVACION DE CORONA 6.40

PERIODO 12 SEG

PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA 8 a 10 TON.

SECCION DEL MODELO:

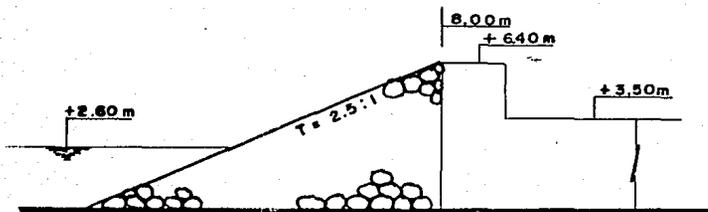


FIGURA No. 13

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA. B. C. N.
 BATIMETRIA DE 1984
 SECCION 0+440

$$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$$

ENSAYO	q_p (m ² /seg)	T_p (seg)	NIVEL DEL MAR	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS SUMERGIDO
25	0.0775	12	+ 2.60	+ 6.40	---
26	0.0720	12	+ 2.60	+ 7.40	---
27	0.0155	12	+ 2.60	+ 8.40	---
28	0.0027	12	+ 2.60	+ 9.40	---
29	0.0308	12	+ 2.60	+ 6.40	N.B.M.I.,
30	0.0143	12	+ 2.60	+ 6.40	+ 2.60

TABLA No. 22

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.

REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS

ENSAYO No. 31

TIPO DE ESTRUCTURA ROCA

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION 1 + 200

ESCALA 1:50

TALUD 2 : 1

BATIMETRIA 1984

MATERIAL ROCA

ALTURA OLA (m) VARIABLE

NIVEL DEL MAR + 2.60

ELEVACION DE CORONA 7.25

PERIODO 12 SEG

PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA 8 a 12 TON.

SECCION DEL MODELO:

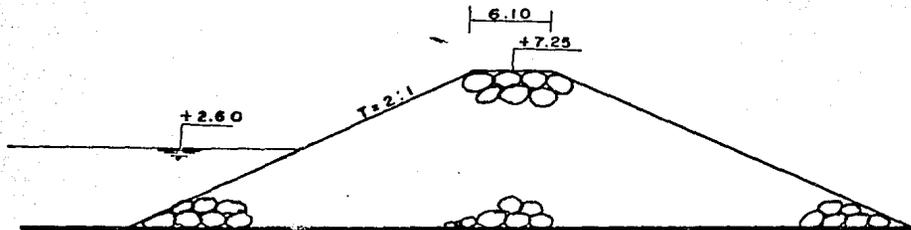


FIGURA No. 14

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B. C. N.

BATIMETRIA 1984

SECCION 1+200

$$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$$

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

NIVEL DEL MAR + 2.60 m

ENSAYO	q_p (m ² /seg)	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORO NA DEL ROMPEO LAS SUMERGIDO	TALUD DEL DELANTAL DEL ROMPEOLAS	TALUD DEL ROMPEOLAS
31	0.0682	+ 7.25	----	----	2:1
32	0.0242	+ 7.25	N.B.M.I.	----	2:1
33	0.0096	+ 7.25	+ 2.60	----	2:1
34	0.0000	+10.25	----	----	2.5:1
35	0.0000	+10.25	----	----	2:1
36	0.0240	+10.25	----	2:1	2.5:1
37	0.0140	+ 7.25	----	2.5:1	2.5:1
38	0.0000	+ 9.25	----	----	2.5:1
39	0.0037	+ 8.25	----	----	2.5:1

TABLA No. 23

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B. C. N.
 BATIMETRIA 1983
 SECCION 0+440

$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$

ENSAYO	$q_p \text{ (m}^2/\text{seg)}$	$T_p \text{ (seg)}$	NIVEL DEL MAR	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS
40	0.1518	12	+2.60	+6.40
41	0.0540	12	+2.60	+7.40

TABLA No. 24

PUERTO DE ENSENADA, B.C.N.
REGISTRO DE ENSAYOS EN EL CANAL
DE OLAS DE LA SOBREELEVACION DEL
OLEAJE SOBRE EL ROMPEOLAS.

ENSAYO No. 42

TIPO DE ESTRUCTURA MIXTO

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO:

SECCION 1 + 200

ESCALA 1:50

TALUD 2 : 1

BATIMETRIA 1983

MATERIAL ROCA

ALTURA OLA (m) VARIABLE

NIVEL DEL MAR + 2.60

ELEVACION DE CORONA 7.25

PERIODO 12 SEG

PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA 8 a 12 TON.

SECCION DEL MODELO:

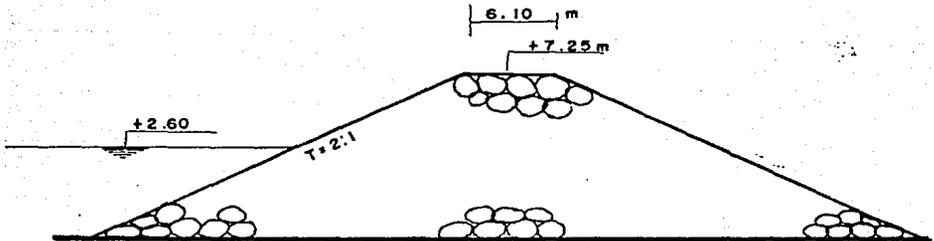


FIGURA No. 15

ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LA SOBREELEVACION DEL OLEAJE
 SOBRE EL ROMPEOLAS DE ENSENADA, B. C. N.
 BATIMETRIA DE 1983
 SECCION 1+200

$H_{1/3} = 4.50 \text{ m}$

$T_p = 12 \text{ seg.}$

NIVEL DEL MAR + 2.60 m

ENSAYO	$q_p \text{ (m}^2/\text{seg)}$	NIVEL DE CORONA DEL ROMPEOLAS	NIVEL DE CORO NA DEL ROMPEO LAS SUMERGIDO	TALUD DEL DELANTAL DEL ROMPEOLAS	TALUD DEL DEL ROMPEOLAS
42	0.0614	+ 7.25	----	---	2:1
43	0.0386	+ 7.25	N.B.M.1.	---	2:1
44	0.0320	+ 7.25	+ 2.60	---	2:1
45	0.0130	+ 8.25	----	---	2.5:1
46	0.0000	+ 9.25	----	---	2.5:1
47	0.0000	+10.25	----	---	2.5:1
48	0.0000	+10.25	----	---	2:1
49	0.0090	+ 7.25	----	2.5:1	2.5:1
50	0.0243	+ 7.25	----	2:1	2:1

TABLA No. 25

A. INFORMACION DE OLEAJE

Con objeto de deducir las características tales como alturas, - periodos, direcciones y frecuencias de oleajes normales (no generados por una perturbación meteorológica, ciclón o huracán) - que pudieran incidir sobre el sitio de ubicación del puerto, se recurrió a la fuente de información estadística denominada - - "Ocean Waves". Esta fuente de información tiene su origen en la Gran Bretaña, y es editada por el Ministerio de Tecnología y el Laboratorio Nacional de Física, obediendo sus datos a observaciones visuales del estado del mar desde barcos. El periodo de registro que presenta es de ocho años (1953 a 1961).

En la fig A.1 se muestran las zonas en que esta fuente ha agrupado los datos de las observaciones visuales del estado del mar, correspondiéndole al puerto de Ensenada, B.C.N. la zona número 14. Para cada una de estas zonas la fuente presenta la información observada en forma similar y a base de tablas. El contenido de estas tablas se describe a continuación para la zona número 14. En la tabla A.1 se presentan las claves usadas para definir el valor del periodo de ola observado.

En la tabla A.2 se presentan los códigos usados para definir el valor de la altura de ola observado.

En la tabla A.3 se reportan las características del oleaje (altura y periodo) independientemente de su dirección. El número que corresponde a una altura y un periodo de ola determinados -

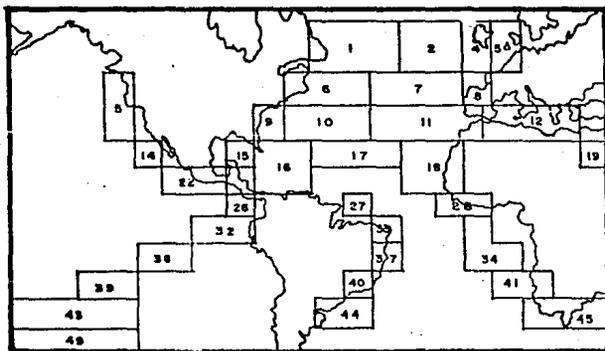


Fig. A.1. Distribución de las zonas de las cartas "Ocean Waves Statistics"

representa el número de observaciones efectuadas con esas características del oleaje.

En la tabla A.4 se reportan las características del oleaje con dirección norte. El número que corresponde a una altura y un periodo de ola determinados representa el número de observaciones efectuadas con esas características para un oleaje con dirección norte.

La sucesión de tablas desde la A.5 hasta la A.15 están estructuradas en forma similar a la tabla A.4 y corresponden a oleajes con otras direcciones.

A.1 Análisis de la información de oleaje

A.1.1 Oleaje normal

La información estadística presentada se analizó para definir las siguientes características del oleaje:

- a. Distribución frecuencial de periodos y alturas del oleaje
- b. Tiempo de acción
- c. Alturas de ola por dirección
- d. Periodo de ola por dirección

El número de observaciones que corresponden a cada característica

ca del oleaje (altura y periodo) de la tabla A.3 se puede expresar como porcentaje de frecuencia de ocurrencia con solo dividir este número entre el número total de observaciones y multiplicarlo por 100. En la tabla 1 se ha realizado esta transformación y las frecuencias de ocurrencia en porcentaje se han sumado por renglones y columnas. También los valores de estas sumas se han ido acumulando por renglones y columnas. El manejo de la tabla A.3 hasta presentarla en la forma de la tabla 1 permite conocer las frecuencias de ocurrencia de alturas y periodos del oleaje, agrupadas por rangos, considerando el régimen anual para todas las direcciones.

De cada una de las tablas A.4 a la A.15 se toma una pareja de datos formada por la dirección del oleaje y el correspondiente número total de observaciones. Estas parejas de datos permiten formar una nueva tabla al consignar en una columna el dato de la dirección del oleaje y en otra su correspondiente número total de observaciones. Los valores de la segunda columna pueden sumarse y expresarse en porcentaje con respecto a esta suma formándose una nueva columna. La suma de los valores así obtenidos en esta nueva columna es de 100. Esta columna se modifica para dar origen a otra en la que cada valor se transforma sobre la base que el 100% es equivalente al número de horas que tiene un año (8760 hrs). En la tabla 2 aparecen los resultados de la información estadística así manejada y que permiten obtener los tiempos que actúan los oleajes para cada dirección de incidencia tomando en cuenta el régimen anual.

En la última columna de las tablas A.4 a la A.15 se consignan - unos valores que se obtienen como la suma por renglones del número de observaciones. Cada uno de estos valores representa el número de observaciones asociado a un rango de alturas de ola y a una dirección de incidencia del oleaje. Estas columnas se colocan por renglones formándose una nueva tabla. Adicionalmente cada uno de los valores de esta tabla se puede expresar como -- frecuencia de ocurrencia en por ciento y procederse a efectuar - su suma por renglones. La información estadística así manejada se presenta en la tabla 3 y proporciona las frecuencia de ocurrencia de las alturas de oleaje agrupadas por rangos, para cada dirección de incidencia y tomando en cuenta el régimen anual.

La tabla 4 se fabrica manejando en forma semejante a lo arriba indicado los últimos renglones de las tablas A.4 a la A.15 obteniéndose la información de las frecuencias de ocurrencia de los periodos del oleaje agrupados por rangos, para cada dirección - de incidencia y tomando en cuenta el régimen anual.

A.1.1.1 Conclusión del análisis de la información estadística del oleaje normal

En la tabla 1 se observa que los periodos de mayor frecuencia son:

1. ≤ 5 seg con 53.39% de ocurrencia
2. 6 - 7 seg con 30.22% de ocurrencia
3. 8 - 9 seg con 7.38% de ocurrencia
4. 10 - 11 seg con 2.84% de ocurrencia

5. 12 - 13 seg con 1.00% de ocurrencia
6. 14 - 21 seg con 1.38% de ocurrencia
7. Encontrándose un 3.83% de las denominadas por la fuente como calmas o indeterminadas

Con relación a las alturas éstas se distribuyen en:

1. 0.51 - 1.00 m con 36.71% de ocurrencia
2. \leq 0.25 m con 8.53% de ocurrencia
3. 0.26 - 0.50 m con 16.15% de ocurrencia
4. 1.01 - 1.50 m con 25.65% de ocurrencia
5. 1.51 - 2.00 m con 8.44% de ocurrencia
6. 2.01 - 2.50 m con 3.21% de ocurrencia

Los periodos con mayor frecuencia de ocurrencia (\leq 5 a 9 seg) - se encuentran asociados a alturas de ola no mayores de 2.00 m.

De la tabla 2 se observa que la dirección más persistente es la N 60° W (1274 hr/año), seguida por la W (1013 hr/año), la - - N 30° W (192 hr/año) y la S 60° W (143 hr/año).

De la tabla 3 se deduce que los porcentajes de acción más altos están asociados a alturas de ola entre 0.51 y 1.0 m y a las direcciones siguientes:

1. N 60° W con 15.71% de ocurrencia y altura de ola entre 0.51 y 1.0 m
2. W con 13.85% de ocurrencia y altura de ola entre 0.51 y 1.0 m

3. N 30° W con 2.97% de ocurrencia y altura de ola entre 0.51 y 1.0 m
4. S 60° W con 1.85% de ocurrencia y altura de ola entre 0.51 y 1.0 m

De la tabla 4 se deduce que los porcentajes de acción más altos están por lo general asociados a períodos de ola ≤ 5 seg y a -- las direcciones:

1. N 60° W con 23.43% de ocurrencia y período de ola ≤ 5 seg
2. W con 17.95% de ocurrencia y período de ola ≤ 5 seg
3. N 30° W con 4.09% de ocurrencia y período de ola ≤ 5 seg
4. S 60° W con 2.28% de ocurrencia y período de ola ≤ 5 seg
5. Encontrándose 3.48% de ocurrencia para las denominadas calmas.

**CLAVES DEL PERIODO
DE OLEAJE**

**PERIODO DEL OLEAJE
SEGUNDOS**

x	Calma o periodo <u>in</u> determinado
2	≤ 5
3	6 a 7
4	8 a 9
5	10 a 11
6	12 a 13
7	14 a 15
8	16 a 17
9	18 a 19
0	20 a 21
1	≥ 21

Tabla A.1 Claves usadas para definir el valor del periodo de ola observado.

CODIGO DE LA ALTURA
DEL OLEAJE

ALTURA DEL OLEAJE
METROS

00	≤ 0.25
01	0,26 a 0.50
02	0.51 a 1.00
03	1,01 a 1.50
04	1.51 a 2.00
05	2.01 a 2.50
06	2.51 a 3.00
07	3.01 a 3.50
08	3.51 a 4.00
09	4.01 a 4.50
10	4.51 a 5.00
11	5.01 a 5.50
12	5.51 a 6.00
13	6.01 a 6.50
14	6.51 a 7.00
15	7.01 a 7.50
16	≥ 7.51

Tabla A.2 Códigos usados para definir el valor de la altura de ola observada.

	X	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	106	142	8	1	1						2	260
01	6	415	34	9	9	3	1				15	492
02	3	740	299	48	8	5	3	2		1	8	1117
03	2	273	395	78	20	9	3				1	781
04		38	134	52	24	7	2					257
05		13	40	24	16	5						98
06		3	8	7	7							25
07				5	1	2						8
08			2		1							3
09				1								1
TOTAL	117	1624	920	225	87	31	9	2		1	26	3042

Tabla A.3 Información observada de las características del oleaje (altura y período) independientemente de su dirección.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	4										4
01	19	2								2	23
02	23	4							1		28
03	9	6	1								16
04	2	3									5
05	1	1	1								3
06	1										1
07											0
08		1									1
TOTAL	59	17	2						1	2	81

Tabla A.4 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección N.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	2										2
01	3										3
02	13	3									16
03	3	1									4
04	2										2
TOTAL	23	4									27

Tabla A.5 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) dirección N 30° E.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	3										3
01	9	1									10
02	6	2									8
03		2		1							3
TOTAL	18	5		1							24

Tabla A.6 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección N 60° E.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	3										3
01	2										2
02	3										3
03	3	1									4
04			1								1
05		1	2								3
06		1	1								2
TOTAL	11	3	4								18

Tabla A.7 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección E.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	5										5
01	5		1	2						1	9
02	2	2	3			1					8
03	2	1	1								4
04		3									3
05		3			1						4
06			1								1
07			1								1
08				1							1
09			1								1
TOTAL	14	9	8	3	1	1				1	37

Tabla A.8 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección S 60° E.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	2										2
01	6	1	1	1							9
02	6	6	1	1	1		1				16
03		4			1	2					7
04		1	2	3							6
05			3								3
06				2							2
TOTAL	14	12	7	7	2	2	1				45

Tabla A.9 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección S 30° E.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	1										1
01		1	1							1	3
02	10	3	2								15
03	3	7	1								11
04		2			1						3
05			1								1
TOTAL	14	13	5		1					1	34

Tabla A.10 Información observada de las características del oleaje (altura y período) con dirección S.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	3	2		1							6
01	10	2									12
02	10	2	2								14
03	1	3									4
05				1							1
TOTAL	24	9	2	2							37

Tabla A.11 Información observada de las características del oleaje (altura y período) con dirección S 30° W.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	6										6
01	26	3	2	1	2					3	37
02	29	19	4	1			1				54
03	6	20	6	3		1					36
04	1	1	4	1		2					9
05	1										1
TOTAL	69	43	16	6	2	3	1			3	143

Tabla A.12 información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección S 60° W.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	47										47
01	131	8	1	3	1					1	145
02	256	118	17	5	3	2				4	405
03	91	137	29	9	6					1	273
04	16	52	23	8	4						103
05	3	14	8	5	1						31
06		3	1	2							6
07			2								2
08		1									1
TOTAL	544	333	81	32	15	2				6	1013

Tabla A.13 información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección W.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	50	5	1							2	58
01	174	14	3	2		1				5	199
02	322	119	16	1						2	460
03	138	196	37	6	2						379
04	17	66	22	11	2						118
05	8	18	7	8	3						44
06	1	4	4	3							12
07			1	1	2						4
TOTAL	710	422	91	32	9	1				9	1274

Tabla A.14 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección N 60° W.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	TOTAL
00	16	1									17
01	30	2								2	34
02	60	21	3		1					2	87
03	17	17	3	1							38
04		6		1							7
05		3	2	2							7
06	1										1
07			1								1
TOTAL	124	50	9	4	1					4	192

Tabla A.15 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección N 30° W.

B. PREDICCIÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA DE GENERACION

Para conocer en el sitio en estudio las posibles características del oleaje se necesita determinar el área de generación de éste. En esta área el oleaje es generado por el viento y se necesita conocer de éste su velocidad y su duración para determinar el período y la altura de ola significativa del oleaje. Estas características del viento se pueden obtener a partir de datos meteorológicos.

B.1 Método de Sverdrup-Munk-Bretschneider para la predicción del oleaje en la zona de generación

Estos autores desarrollaron una teoría que sirve para predecir el oleaje en aguas profundas y suponen que el viento sopla con una velocidad constante. Los autores además consideran que los principales parámetros para generación de olas en esta zona son: velocidad del viento formativo (U), su duración (t), fetch (F) y aceleración de la gravedad (g). Con este método se obtiene una altura, $H_{1/3}$, y período $T_{1/3}$, llamadas significantes que representan al oleaje real, y se pueden obtener por medio de las siguientes ecuaciones

$$H_{1/3} = 0.2525 \operatorname{tgh} \left(0.01 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.49} \right) \left(\frac{U^2}{g} \right) \quad (\text{B.1})$$

$$T_{1/3} = 0.358 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.28} \left(\frac{U}{g} \right) \quad (\text{B.2})$$

$$T_{1/3} = 50.721 \operatorname{tgh} \left(0.015 (gF/U)^{0.2} \right) \left(\frac{U}{g} \right) \quad (\text{B.3})$$

$$H_{1/3} = 12.3174 \operatorname{tgh} (0.0004345 \left(\frac{gt}{U}\right)^{0.33}) \left(\frac{U^2}{g}\right) \quad (B.4)$$

Donde las ecuaciones B.1 y B.2 están en función del fetch y las ecuaciones B.3 y B.4 en función del tiempo de duración de la tormenta. Los datos para el cálculo mediante estas ecuaciones fueron tomados del Meteorológico Nacional para el huracán Emily y son los siguientes

F e c h a	H o r a	Long. Fetch (km)	Long. decaimiento (km)
3-IX-65	12:00	499.5	444
3-IX-65	18:00	466.2	266.4

de donde el fetch medio es igual a 482.85 km y el decaimiento medio es 355.2 km. El tiempo de duración de la tormenta es - - $T_D = 6$ hrs. El espaciamiento entre isobaras es de 2.3° , la latitud del centro de generación $\beta = 27.4^\circ$ y la velocidad del viento geostrofico $V_g = 14$ m/seg.

Para poder sustituir los datos en las ecuaciones B.1 a B.4 solo falta calcular la velocidad del viento formativo U que es igual a

$$U = V_g (0.9) (0.65) = 8.19 \text{ m/seg}$$

Donde el valor de 0.9 representa a un factor de ajuste por curvatura en las isobaras para ciclones y el factor 0.65 ajusta por diferencia de temperatura entre el mar y el aire.

Sustituyendo en las ecuaciones B.1 a B.4 tenemos

$$\begin{aligned} (H_{1/3})_F &= 0.2525 \operatorname{tgh} [0.01 ((9.81)(482850)/(8.19)^2)^{0.49}] ((8.19)^2/9.81) \\ &= 1.70 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (H_{1/3})_F &= 12.3174 \operatorname{tgh} (0.0004345 (9.81(21600)/8.19)^{0.33}) (8.19)^2 / 9.81 \\ &= 1.05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (T_{1/3})_G &= 50.721 \operatorname{tgh} (0.015 (9.81(21600)/8.19)^{0.2}) (8.19/9.8) \\ &= 4.83 \text{ seg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (T_{1/3})_G &= 0.358 (9.81(482850)/(8.19)^2)^{0.28} (8.19/9.81) \\ &= 6.81 \text{ seg} \end{aligned}$$

Se toman los valores más pequeños que son los que nos van a limitar la altura y el período de ola significantes en la zona de generación. El mismo procedimiento se utiliza en la zona de decaimiento con las ecuaciones B.5 y B.6

$$(T_{1/3})_D = (1 + 0.005953 (D/g(T_{1/3})_G^2))^{1/2} (T_{1/3})_G \quad (\text{B.5})$$

$$(H_{1/3})_D = ((T_{1/3})_D / (T_{1/3})_G)^{-2.655} (H_{1/3})_G \quad (\text{B.6})$$

Sustituyendo

$$\begin{aligned} (T_{1/3})_D &= (1 + 0.005953 (355200/9.81(4.83)^2))^{0.5} (4.83) \\ &= 15.46 \text{ seg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (H_{1/3})_D &= (15.46/4.83)^{-2.655} (1.05) \\ &= 0.048 \text{ m} \end{aligned}$$

Cabe mencionar que el valor de la altura de ola significativa correspondiente a la zona de decaimiento. Tiene un valor bastante pequeño debido a la posición y distribución isobarica del huracan analizado para la zona en estudio.

Solo falta decir que la ola significativa se define como la altura de ola promedio del tercio de las olas más altas que hay en una observación y al promedio de los periodos comprendidos en el mismo tercio se le denomina periodo significativo.

C. INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

C.1 Factores principales que influyen en el incremento de nivel del mar

Los factores más importantes que provocan que el nivel del mar aumente son: el viento, la marea astronómica y el cambio en la presión atmosférica.

En este apéndice se va a calcular el aumento del nivel de mar de acuerdo a las condiciones que provoca el huracán Emily sobre el puerto de Ensenada, B.C.N.

C.1.1 Incremento del nivel del mar por el cambio en la presión atmosférica

Para realizar este cálculo se hará uso de las siguientes ecuaciones:

$$U_{gr} = (U_{10})_{\text{máx}} / 0.6 \quad C.1$$

$$\Delta p = e \rho (U_{gr})^2 \quad C.2$$

Donde:

U_{gr} Velocidad del viento geostrofico, en m/seg

$(U_{10})_{\text{máx}}$ Velocidad del viento máxima, en m/seg

Δp Aumento del nivel del mar por efecto de la presión atmosférica, en m

e Base de los logaritmos naturales, adimensional

ρ Peso del aire (igual a 1.1 kg/m^3)

* $(U_{10})_{\text{máx}}$ Corresponde a la máxima velocidad que presentó el huracán durante todas las posiciones de su desarrollo.

Para realizar el cálculo se cuenta con los siguientes datos:

$$(U_{10})_{\max} = 65 \text{ km/hr} = 18.06 \text{ m/seg}$$

$$\psi = 26.5^\circ$$

Sustituyendo en las ecuaciones C.1, C.2 respectivamente tenemos:

$$U_{gr} = 18.06/0.6 = 30.1 \text{ m/seg}$$

$$\Delta p = (2.72)(1.1)(30.1)^2 = 2710.78 \frac{\text{New}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta p = 27.1 \text{ mb} = 0.27 \text{ m}$$

Obteniéndose finalmente que el incremento del nivel del mar por cambio en la presión atmosférica es 0.27 m.

C.1.2 Incremento en el nivel del mar por la acción del viento

Para efectuar este cálculo contamos con la siguiente ecuación

$$\zeta_w = k' U^2 \cot \alpha \ln (h_2/h_1) \quad \text{C.3}$$

Donde:

- ζ_w Aumento del nivel por la acción del viento, en m
- k' Coeficiente que relaciona el aumento del nivel del mar con el viento igual a 4.8×10^{-7}
- α Pendiente del fondo del mar
- h_2 Profundidad de barlovento, en m
- h_1 Profundidad en sotavento, en m

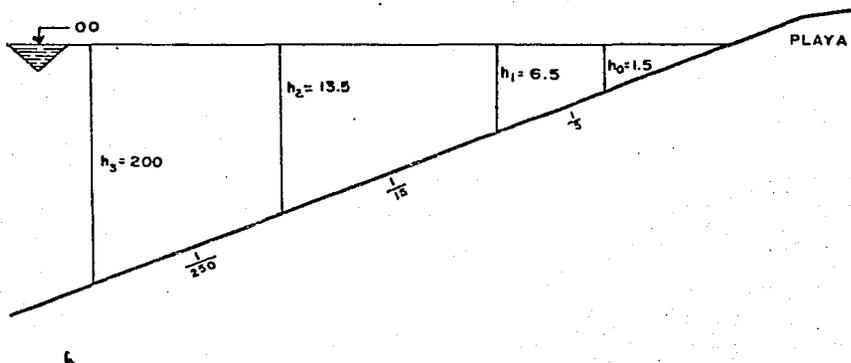


Fig. C.1 Pendientes y profundidades del mar en una sección del puerto de Ensenada, B.C.N.

Sustituyendo en la ecuación C.3 los datos de las distintas profundidades y pendientes se obtiene

$$\zeta_w(1) = 4.8 \times 10^{-7} (18.06)^2 (250) \ln\left(\frac{200}{13.5}\right) = 0.106$$

$$\zeta_w(2) = 4.8 \times 10^{-7} (18.06)^2 (15) \ln\left(\frac{13.5}{6.5}\right) = 0.002$$

$$\zeta_w(3) = 4.8 \times 10^{-7} (18.06)^2 (15) \ln\left(\frac{6.5}{1.5}\right) = 0.001$$

$$\zeta_w = \zeta_w(1) + \zeta_w(2) + \zeta_w(3) = 0.109 \text{ m}$$

Lo que conduce a que el incremento del nivel del mar por viento es 0.109 m.

C.1.3 El incremento del nivel del mar por marea astronómica se obtiene de las tablas de predicción de marea editadas por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Para la zona de Ensenada, B.C.N. es $n = 1.601$ m.

El incremento total del nivel del mar reuniendo las tres condiciones es de $n_T = 1.98$ m.

REFERENCIAS

- 1.- Departamento de Laboratorio de la S.C.T.
"La sobreelevación del oleaje sobre el rompeolas del
puerto de Ensenada, B.C.N."
Marzo de 1984.
- 2.- J.L. Sánchez Bibrlesca
"Manual de Hidráulica Marítima Elemental"
México, D.F., 1982
Instituto de Ingeniería, UNAM.
- 3.- Instituto de Geofísica de la UNAM
"Tablas de predicción de mareas"
México, D.F., 1985.
- 4.- Shoji Sato, Yoshimi Goda
"Costa y Puerto"
Ed. Yokosuka Japan, en japonés.
- 5.- Servicio Meteorológico Nacional, SARH
"Trayectorias ciclónicas y cartas sinópticas del tiempo"
México, D.F.
- 6.- Y. Goda
"Hydraulics Models"
Port and Harbour Research Institute
Yokosuka Japan.