



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE AGITACION EN EL PUERTO  
DE VERACRUZ, VER. UTILIZANDO EL CONCEPTO DE  
IRREGULARIDAD DEL OLEAJE.

**T E S I S**

Que para obtener el título de  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A

felipe de jesús garcía martínez

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991

ASESOR: ING. JOSE MIGUEL MONTOYA RODRIGUEZ



## **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.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE AGITACION EN EL PUERTO  
DE VERACRUZ, VER. UTILIZANDO EL CONCEPTO DE -  
IRREGULARIDAD DEL OLEAJE.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.
2. CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS
  - 2.1. Mareas
  - 2.2. Viento
  - 2.3. Oleaje
  - 2.4. Planeación Portuaria y Batimetria.
3. PROYECTO DEL MODELO HIDRAULICO
  - 3.1. Selección de la escala del modelo
  - 3.2. Construcción del modelo
4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL APLICANDO LA IRREGULARIDAD DEL OLEAJE
  - 4.1. Cálculo de la señal de oleaje irregular.
  - 4.2. Medición de oleaje
  - 4.3. Análisis de los registros de oleaje.
  - 4.4. Cálculo del coeficiente de agitación.
5. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS Y ENSAYOS REALIZADOS
  - 5.1. Alternativas a estudiar
  - 5.2. Condiciones de oleaje.
  - 5.3. Ensayos realizados.
6. RESULTADOS.
7. CONCLUSIONES
8. BIBLIOGRAFIA.

## 1. INTRODUCCION

El Puerto de Veracruz Ver. se localiza en la parte central del Estado del mismo nombre en el litoral del Golfo de México, su situación geográfica esta definida por  $19^{\circ}12' 30''$  de latitud norte y  $96^{\circ}05' 00''$  de longitud oeste.

Sus condiciones físicas se caracterizan por tener un clima tropical-húmedo, bajo la influencia de huracanes del golfo y "nortes", su temperatura anual promedio varía de  $22.1^{\circ}$  a  $28.3^{\circ}$ , teniendo su época mas calurosa de mayo a noviembre, los vientos dominantes provienen del norte de septiembre a marzo y del este de abril a agosto.

Los oleajes provenientes principalmente de la dirección norte provocan problemas importantes de agitación en la zona del Muelle Fiscal No.1, en el acceso al puerto y en la zona definida por el rompeolas Sur-este y el Muro de Pescadores, ocasionando mermas en la eficiencia de las operaciones portuarias.

Con objeto de resolver el problema citado se realizaron estudios de agitación en modelo hidráulico de fondo fijo en las instalaciones del laboratorio de hidráulica marítima ubicado en San Juan Ixhuatpec, Edo. de México.

Los ensayos realizados en el modelo se llevaron a cabo utilizando oleaje irregular. Los resultados obtenidos en los ensayos realizados se describen a continuación.

## 2. CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS

### 2.1 MAREAS

En cuanto a las características de la marea astronómica ( ref. 1 pp.-51) se puede resumir que es del tipo mixta semidiurna y que sus niveles significativos son los siguientes

Pleamar máxima registrada	1.230 m.
Nivel de pleamar media	0.522 m.
Nivel medio del mar	0.301 m.
Nivel de media marea	0.261 m.
Nivel de bajamar media	0.000 m.
Bajamar mínima registrada	-0.477 m.

de donde se puede observar que la altura de marea astronómica referida al nivel de bajamar media es de 0.522 m.

## 2.2 VIENTO

En forma muy general se describirán las características de los vientos que se presentan en las vecindades del Puerto de Veracruz Ver.

### 2.2.1 VIENTOS OCEANICOS

A fin de conocer la relación que tienen los vientos oceánicos, con el régimen de oleaje que se presenta en el Golfo de México en la zona costera del Estado de Veracruz, se presenta un resumen estacional del análisis de las direcciones del viento ( ref. 2 pp. 31-34).

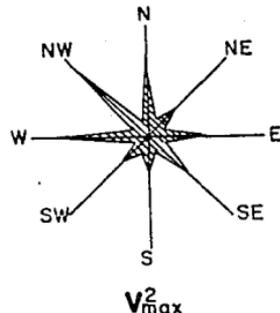
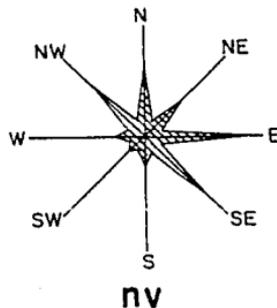
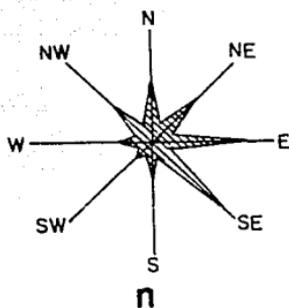
ESTACION	VIENTO	DIRECCION	PORCENTAJE
Invierno	Reinantes	N, SE	19.67
	Dominantes	N, NW	
Primavera	Reinantes	E	27.33
	Dominantes	E	
Verano	Reinantes	E	27.33
	Dominantes	E	
Otoño	Reinantes	N	19.67
	Dominantes	N	

### 2.2.2 ANALISIS ESTADISTICO DE VIENTOS

Los datos procesados comprenden los porcentajes de incidencia de 8 direcciones de la Rosa de los vientos, clasificados en rangos de velocidades de 4 a 10, de 11 a 16, de 17 a 27 y mayores de 28 Nudos, y en porcentajes de incidencia para cada rango. Los datos se clasifican para todos y cada uno de los meses del año y fueron la base para formular los diagramas de Lenz. Estacionales y anuales que se presentan de la tabla 2.1 a la 2.5 y nos permiten definir los Vientos Reinantes (Gráfica N) y los Vientos Dominantes (Gráfica V<sup>2</sup>).

Tabla No. 2.1 Resumen Anual de las Características del Viento,

ESTACION ANUAL

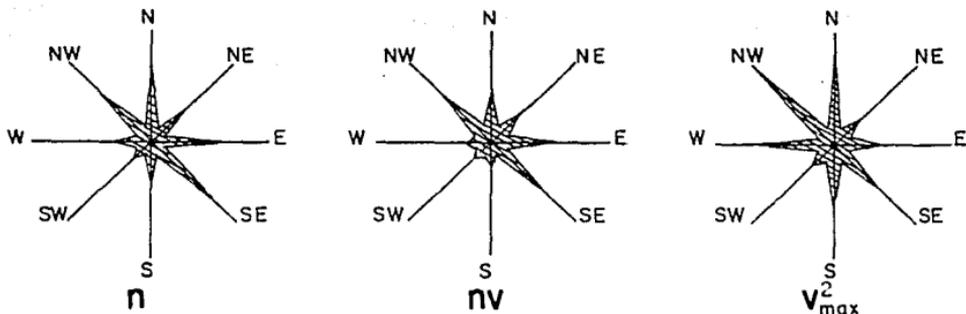


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>n</b>	1862	1550	2715	2361	718	187	458	1269
<b>nv</b>	13452	7387	16634	13394	3814	778	2822	10155
<b>V<sub>max</sub></b>	24.25	13.78	15.50	17.31	12.62	11.39	20.96	25.51
<b>V<sub>max</sub><sup>2</sup></b>	588.06	189.89	240.25	299.64	159.26	129.73	439.32	650.76

FUENTE: OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC OCEAN ( PUB No 70 C ).

Tabla No.2.2 Resumen Estacional de las Características del Viento.

ESTACION:DICIEMBRE-ENERO - FEBRERO

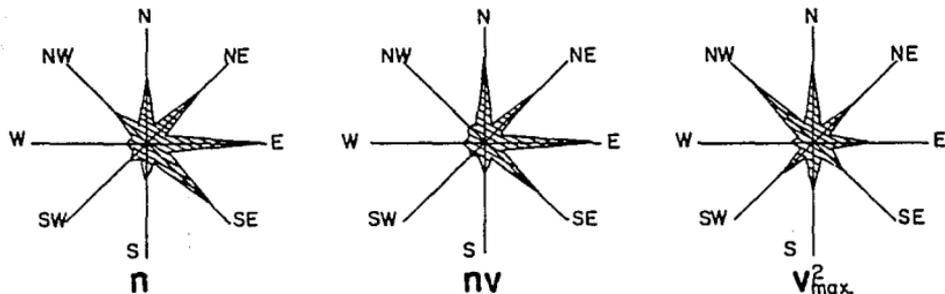


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>n</b>	584	238	426	584	198	49	148	465
<b>nv</b>	3055	1170	2085	2907	1041	213	879	4138
<b>V max.</b>	2255	8.32	13.11	17.18	13.55	8.74	16.28	23.63
<b>V<sup>2</sup><sub>max</sub></b>	507.57	64.20	111.85	295.15	183.67	76.42	264.98	558.32

FUENTE: OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC OCEAN ( PUB No 70 C)

Tiablo No 2.3 Resumen Estacional de las Caracteristicas del Viento

ESTACION: MARZO-ABRIL-MAYO

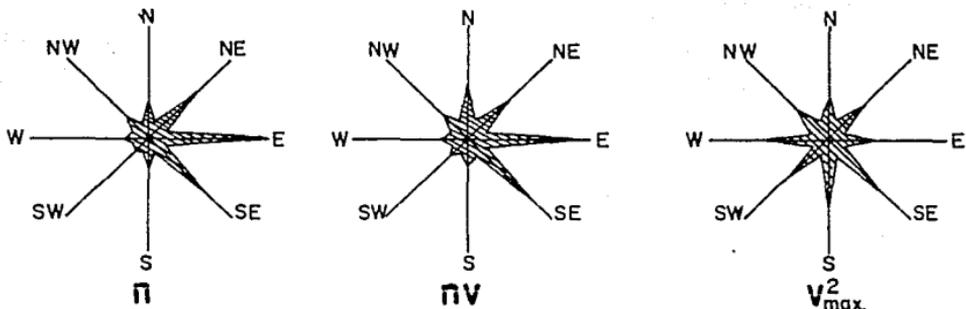


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>n</b>	381	408	744	535	154	36	27	200
<b>nv</b>	2312	2513	4650	2128	806	142	115	1418
<b>V<sub>max</sub></b>	19.69	13.25	15.25	13.76	14.74	15.15	4.66	20.64
<b>V<sub>max</sub><sup>2</sup></b>	387.71	175.74	232.57	189.40	217.21	229.56	21.70	425.96

FUENTE: OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC OCEAN ( PUB No 70 C)

Tiaba No. 2.4 Resumen Estacional de las Características del Viento.

ESTACION: JUNIO-JULIO-AGOSTO

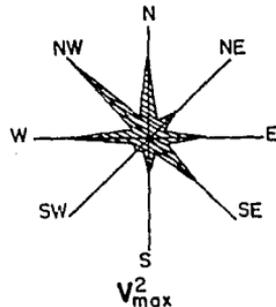
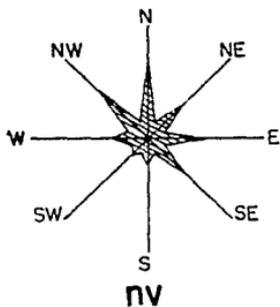
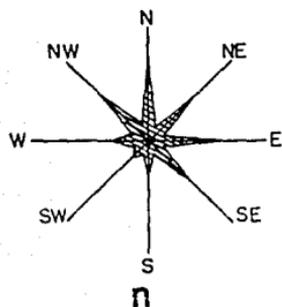


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>n</b>	205	420	948	732	172	54	86	140
<b>nv</b>	956	1826	4658	3833	930	227	346	540
<b>V<sub>max</sub></b>	11.38	12.99	10.24	14.85	14.75	9.85	10.64	9.60
<b>V<sup>2</sup><sub>max</sub></b>	129.51	168.76	104.89	220.79	217.53	97.03	113.25	92.17

FUENTE: OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC OCEAN ( PUB No 70 C )

Tabla No. 2.5 Resumen Estacional de las Características del Viento,

ESTACION: SEPTIEMBRE-OCTUBRE-NOVIEMBRE



	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>n</b>	700	487	570	487	190	47	214	475
<b>nv</b>	4467	2305	2844	2632	875	171	1535	4105
<b>V max.</b>	22.18	12.36	13.96	10.31	11.34	5.91	19.93	23.49
<b>V<sup>2</sup> max</b>	491.45	152.80	194.86	106.25	128.55	26.11	387.22	551.87

FUENTE: OCEANOGRAPHIC ATLAS OF THE NORTH ATLANTIC OCEAN ( PNB No 70 C )

### 2.3 OLEAJE

Con el fin de conocer las características del oleaje en la costa del Estado de Veracruz, se recurrió al análisis estadístico del oleaje realizado por CYCOMSA (ref. 2 )

Este análisis fué elaborado tomando como base las tablas del Sea and Swell y del Ocean Waves Statistics, publicadas por la oficina Hidrográfica de la Armada de los Estados Unidos y el Gobierno Británico respectivamente.

El resumen de tal información se presenta en las tablas 1, 2 y 3 en donde se consignan las características del oleaje en forma anual.

T A B L A      N<sup>o</sup> .   1  
R E S U M E N   A N U A L   D E   O L E A J E  
L O C A L .

DIRECCION	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (m).	% DE FRECUENCIA
N	2.11	17.16
NE	1.20	20.66
E	1.17	21.08
SE	1.12	13.08
S	0.94	2.66
SW	1.02	2.16
W	2.16	3.91
NW	2.96	14.83

\* Fuente : Atlas Sea and Swell.

T A B L A N ° . 2

RESUMEN ANUAL DE OLEAJE  
DISTANTE .

DIRECCION	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (m)	% DE FRECUENCIA
N	3.00	14.16
NE	2.32	15.33
E	2.37	10.00
SE	2.37	4.16
S	2.74	0.66
SW	2.74	0.25
W	2.88	1.58
NW	3.28	9.83

\* Fuente: Atlas Sea and Swell

T A B L A N ° . 3

RESUMEN ANUAL DE OLEAJE  
SIGNIFICANTE .

DIRECCION	ALTURA DE OLA (m)	PERIODO (seg)	% DE FRECUENCIA
N	1.95	7.65	9.31
NE	1.72	8.16	34.85
E	1.74	8.15	15.11
SE	1.86	9.21	14.47
S	1.53	8.19	2.88
SW	2.08	7.80	4.19
W	2.74	9.34	3.25
NW	2.11	9.73	9.55

\* Fuente : Atlas Sea and Swell

De las tablas puede concluirse que los oleajes con mayor frecuencia según el Sea and Swell son:

#### ↓ DE FRECUENCIA

DIRECCION	OLEAJE LOCAL	OLEAJE DISTANTE
E	21.08	10.00
NE	20.66	15.33
N	17.16	14.16
NW	14.83	9.83
SE	13.08	4.16

Los oleajes con mayor frecuencia según el Ocean Waves Statistics son:

DIRECCION	↓ DE FRECUENCIA
NE	34.85
E	15.11
SE	14.47

Pudiéndose concluir que los oleajes a representar en el modelo deberán ser los que provienen de las direcciones NE, E y SE respectivamente.

En cuanto a la altura y período de estos oleajes se obtuvo la siguiente información

Fuente: Sea and Swell

DIRECCION	ALTURA DEL OLAJE (m)	
	LOCAL	DISTANTE
NE	1.20	2.32
E	1.17	2.37
SE	1.12	2.37

Fuente: Ocean Waves

DIRECCION	ALTURA (m )	PERIODO (seg.)
NE	1.72	8.16
E	1.74	8.15
SE	1.86	9.21

Se puede concluir que el modelo deberá operarse con oleajes cuyo período varíe entre 8 y 10 segundos.

#### 2.4 PLANEACION PORTUARIA Y BATIMETRIA

En cuanto a la geometría y condiciones batimétricas del puerto consideradas para la construcción del modelo se tomó como base lo mostrado en el plano denominado "Plano General del Puerto de Veracruz Ver." s/n y fecha junio de 1971, realizado por la residencia de obras del Puerto de Veracruz Ver.

Cabe mencionar que la batimetría de la zona exterior se presentó en el modelo hasta la curva batimétrica -12 y la zona interior de acuerdo a lo mostrado en el plano antes mencionado excepto en la zona comprendida entre el Muro de pescadores y el rompeolas del Sur-este.

La longitud y orientación de las obras interiores y exteriores se representó en el modelo de acuerdo a lo indicado en el plano de referencia y de acuerdo también con la información proporcionada por la residencia de obras del puerto.

### 3. PROYECTO DEL MODELO HIDRAULICO

#### 3.1 SELECCION DE LA ESCALA DEL MODELO

Tomando como base el área disponible del tanque en donde se realizarán los ensayos y el área por representar el prototipo, el valor de la escala de línea quedó determinado de acuerdo con la siguiente relación

$$L_e = \left( \frac{A_p}{A_m} \right)^{1/2} \quad (3.1)$$

Donde :

$L_e$  : es la escala de líneas

$A_p$  : es el área por representar el portotipo

$A_m$  : es el área disponible en el tanque

Al substituir la ecuación (3-1) los valores del área por representar el puerto y el área disponible resultó :

área por representarse	$6'760,000 \text{ m}^2.$
área disponible	$312 \text{ m}^2.$

$$L_e = \left( \frac{6'760,000}{312} \right)^{1/2} = 147.19$$

De esta manera la escala de líneas a la cual deberá construirse el modelo es de 1:150, redondeando el valor encontrado anteriormente.

Dado que las ondas a reproducirse son gravitacionales, la ley de similitud a utilizar será la de Froude. Esta ley establece que los números de Froude en prototipo y modelo deberán ser iguales. El número de Froude  $F^2$  se define como :

$$F^2 = \frac{v^2}{gL} \quad (3.2)$$

Donde:

$v$  : es la velocidad

$g$  : es la aceleración de la gravedad

$L$  : la longitud característica

La condición que deberá cumplirse es:

$$F_m^2 = F_p^2 \quad (3.3)$$

Donde los subíndices  $m$  y  $p$  significan modelo y prototipo, respectivamente.

Substituyendo (3.2) en (3.3) se obtienen :

$$\frac{V_m^2}{L_m} = \frac{V_p^2}{L_p} \quad (3.4)$$

Dado que la aceleración de la gravedad  $g$  es la misma tanto en el modelo como en el prototipo, tenemos :

$$g_p = g_n \quad (3.5)$$

Por eso la ecuación 3.4 se cambia :

$$\frac{V_m^2}{L_m} = \frac{V_p^2}{L_p} \quad (3.6)$$

O bien

$$\frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\frac{L_p}{L_m}} \quad (3.7)$$

La ecuación 3.7 indica que la escala de velocidad debe ser igual a la raíz cuadrada de la escala de líneas.

En ensayos de agitación es necesario mantener la similitud de los fenómenos de refracción y difracción

(1) Similitud de refracción

El ángulo de refracción según la ley de Snell se expresa como sigue :

$$\frac{\text{Sen } B}{\text{Sen } B_o} = \frac{C}{C_o} \quad (3.8)$$

Donde:

B : Angulo del oleaje refractado

B<sub>o</sub> : Angulo de oleaje incidente

C : Celeridad de oleaje refractado

C<sub>o</sub> : Celeridad de oleaje incidente

Para satisfacer la similitud de la refracción es necesario que :

$$\frac{\text{Sen } B_p / \text{Sen } B_{op}}{\text{Sen } B_m / \text{Sen } B_{om}} = \frac{C_p / C_{op}}{C_m / C_{om}} \quad (3.9)$$

Para lo que Sen B / Sen Bo deberá ser igual tanto en el modelo como en el prototipo, quedando :

$$\frac{C_p}{C_{op}} = \frac{C_m}{C_{om}} \quad (3.10)$$

Por otro lado, la longitud de oleaje se expresa como sigue :

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tan h \frac{2\pi h}{L} = L_o \tan h \frac{2\pi h}{L}$$

Donde :

- T : Período del oleaje
- h : Profundidad
- L : Longitud del oleaje

Por lo tanto

$$\frac{L}{L_o} = \tan h \frac{2\pi h}{L} \quad (3.11)$$

Si utilizamos la siguiente relación en la ecuación 3.10

$$\frac{L}{L_o} = \frac{CT}{C_o T} = \frac{C}{C_o}$$

Entonces

$$\frac{C}{C_o} = \tan h \frac{2\pi h}{L} \quad (3.12)$$

Sustituyendo la ecuación 3.12 en la 3.10 tenemos :

$$\text{Tan h } \frac{2\sqrt{g}}{L_p} h_p = \text{Tan h } \frac{2\sqrt{g}}{L_m} h_m.$$

Por lo tanto

$$\frac{h_p}{L_p} = \frac{h_m}{L_m} \quad (3.13)$$

$$\therefore \frac{L_m}{L_p} = \frac{h_m}{h_p} \quad (3.14)$$

La ecuación 3.14 indica que la escala de la longitud del oleaje es igual a la escala de profundidades.

Por otro lado la longitud del oleaje en aguas profundas puede expresarse :

$$L_o = \frac{g}{2\sqrt{g}} T^2$$

Por lo tanto

$$\frac{L_{om}}{L_{op}} = \frac{g/2\sqrt{g} T_m^2}{g/2\sqrt{g} T_p^2} = \frac{T_m^2}{T_p^2} \quad (3.15)$$

Utilizando la ecuación 3.14 en 3.15

$$\frac{T_m}{T_p} = \left( \frac{L_{om}}{L_{op}} \right)^{1/2} = \left( \frac{h_m}{h_p} \right)^{1/2} \quad (3.16)$$

La ecuación 3.16 indica que la escala de períodos del oleaje debe ser igual a la escala de profundidades, a la 1/2 .

De esta manera se satisface la similitud de la refracción del oleaje.

## (2) Similitud de la difracción

Para satisfacer la similitud de la difracción es necesario que la escala de las longitudes del oleaje sean iguales en el modelo y en el prototipo.

Es decir :

$$\frac{L_p}{b_p} = \frac{L_m}{b_m}$$
$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{b_m}{b_p} \quad (3.17)$$

Donde:

L : Longitud del oleaje

b : Longitud horizontal de la configuración

Utilizando la siguiente ecuación

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$$

Se puede obtener la siguiente relación

$$\frac{T_m}{T_p} = \left( \frac{L_{0m}}{L_{0p}} \right)^{1/2} = \left( \frac{L_m}{L_p} \right)^{1/2} \quad (3.18)$$

Sustituyendo la ecuación 3.17 en la ecuación 3.18 tenemos

$$\frac{T_m}{T_p} = \sqrt{\frac{b_m}{b_p}} \quad (3.19)$$

La ecuación 3.19 indica que la escala de períodos del oleaje debe ser igual a la raíz cuadrada de la escala de la longitud horizontal de la configuración.

Sobre todo, para satisfacer simultáneamente el fenómeno de refracción y difracción según las ecuaciones 3.16 y 3.19 la siguiente relación debe mantenerse:

$$\frac{b_m}{b_p} = \frac{h_m}{h_p}$$

Por lo tanto el modelo no puede distorcionarse.

Considerando lo escrito anteriormente sobre la ley de similitud de refracción y difracción y la escala de líneas 1:150 seleccionada previamente, se obtuvieron las siguientes relaciones de escalas

Escala de líneas horizontales y verticales	Le = 150
Escala de longitudes de ola	Le = 150
Escala de períodos de ola	Te = 12.24
Escala de alturas de ola	He = 150

### 3.2 CONSTRUCCION DEL MODELO

El modelo del Puerto se construyó en un tanque de 42.76 X 26.20 m. en la sala de Modelos No. 2 del Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Obras Marítimas, con escala de línea 1:150 sin distorsión y de acuerdo a la figura 3.1

Para la construcción del modelo, en el piso de dicho tanque fué necesario trazar una cuadrícula como se muestra en la figura 3.1, la cual sirvió de base para el trazo del Puerto. Posteriormente se levantó en todo el contorno del Puerto un muro de tabique rojo recocado aplanándose con mortero cemento-arena.

Con ayuda de la cuadrícula se localizaron bloques de concreto colocados en los puntos necesarios para trazar las curvas batimétricas. Estos bloques fueron nivelados y fijados para evitar que se movieran. Posteriormente el espacio entre curvas batimétricas se relleno con cascajo y arena, quedando 3 cms. bajo el nivel correspondiente. Una vez realizado lo anterior se colocaron 3 cms. de mortero cemento-arena para configurar la superficie del modelo con acabado liso. Por último se dibujó sobre la superficie del modelo la malla que serviría para la localización de los puntos de medición del oleaje.

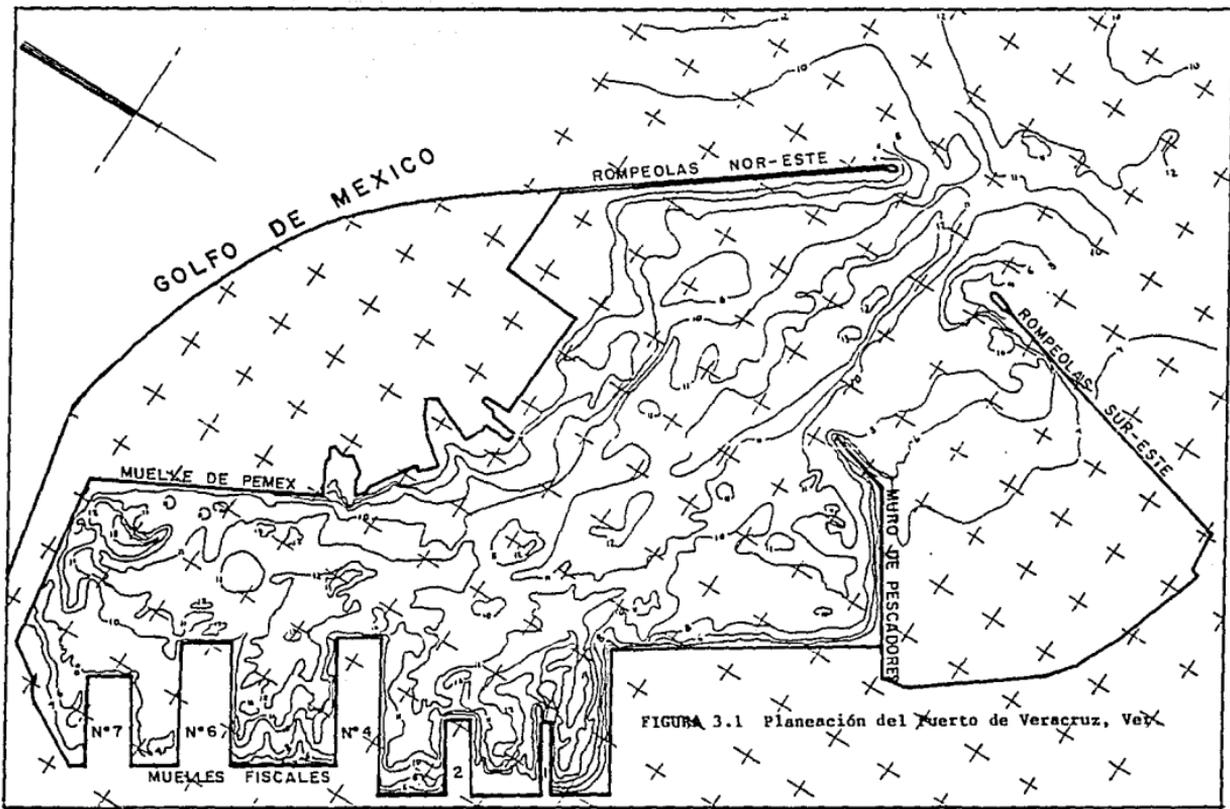


FIGURA 3.1 Planeación del Puerto de Veracruz, Ver.

#### 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL APLICANDO LA IRREGULARIDAD DEL OLAJE

##### 4.1 Cálculo de la Señal de Oleaje Irregular

El oleaje irregular puede expresarse como un conjunto de varias componentes de oleaje regular.

El nivel de agua del oleaje irregular puede expresarse como sigue:

$$\eta(n) = \sum_{m=1}^M a_m \cos(n \sqrt{m} \Delta t + \epsilon_m) \quad (4.1)$$

Donde:

$\eta(n)$  = Nivel de agua

$M$  = Número de componentes (más de 50)

$a_m$  = Amplitud de cada componente

$\epsilon_m$  = Fase (de 0 a  $2\pi$ ) de cada componente

$\sqrt{m}$  = Frecuencia angular de cada componente

Para determinar los valores de la amplitud ( $a_m$ ) y frecuencia angular de cada componente ( $\sqrt{m}$ ), se hace uso del espectro frecuencial de oleaje irregular.

El espectro frecuencial de oleaje irregular utilizado es el de Bretschneider Mitsuyasu y que se expresa como sigue :

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp \left[ -1.03 (T_{1/3} f)^{-4} \right] \quad (4.2)$$

Donde:

$H_{1/3}$  : Altura de ola significativa en (cm.)

$T_{1/3}$  : Período de ola significativa en (seg.)

$S(f)$  : Densidad de la energía de la frecuencia  $f$

Entre la frecuencia angular  $\sqrt{m}$ , el período  $T$  y la frecuencia  $f$  existen las siguientes relaciones :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\sqrt{m}} \quad f = \frac{\sqrt{m}}{2\pi} = \frac{-1}{T}$$
$$\sqrt{m} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4.3)$$

Para decidir la altura de cada componente de oleaje se divide el espectro frecuencial en pequeñas áreas iguales como se indica en la figura 4.1

Por otro lado las dimensiones de  $S(f)$  y  $f$  son las siguientes:

$$S(f) : (\text{cm}^2 \text{ seg.})$$

$$f : (1/\text{seg.})$$

Por eso la dimensión de la integral de  $S(f)$  con  $f$  es como sigue:

$$\int_0^{\infty} S(f)df : (\text{cm}^2)$$

Como la energía del oleaje es proporcional al cuadrado de la altura de el mismo la integral de  $S(f)$  con respecto a  $f$  es la energía del oleaje, por lo tanto:

$$\frac{H_i^2}{8} = \int_0^{\infty} S(f)df \quad (4.4)$$

Donde  $H_i$  es la altura del oleaje regular ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) de cada componente y  $\int S(f)$  es el área del espectro frecuencial de cada banda.

El período del oleaje regular de cada componente corresponde a las frecuencias representativas como se cita en la siguiente ecuación

$$T_i = 1/f_{ci}$$

Donde  $T_i$  es el período y  $f_{ci}$  es la frecuencia representativa ( $i = 1, 2, \dots, M$ ), que se calcula con la ecuación siguiente:

$$f_{ci} = \frac{1.896\sqrt{M}}{T_{1/3}} \sqrt{\phi \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{M}{i-1} \right)} \right) - \phi \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{M}{i} \right)} \right)}$$

Donde  $T_{1/3}$  es el período de la ola significativa

$M$  es el número de los componentes

$\phi$  es la función de errores definidos en la siguiente ecuación:

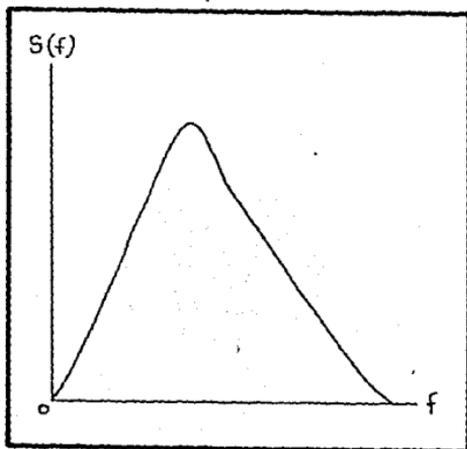


Fig. 4.1 Espectro Frecuencial

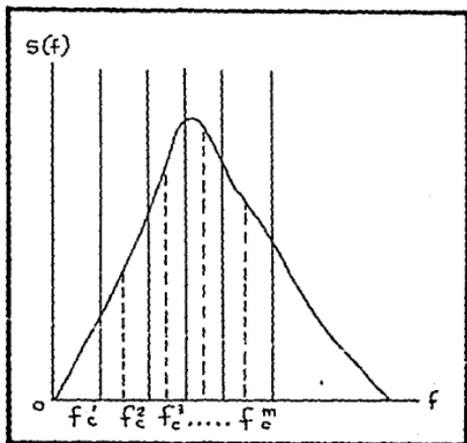


Fig. 4.2 División de los Componentes

$$\vartheta(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{f^2}{2}\right) df$$

En la ecuación (4.1) am, puede calcularse con la ecuación (4.4) y  $\sqrt{m}$  puede calcularse con las ecuaciones (4.3) y (4.5), pero  $\Sigma_m$  no se puede calcular con la ayuda del espectro. Para el cálculo del  $\Sigma_m$  se usan números aleatorios definidos entre 0 y  $2\pi$

El nivel de agua  $h(n)$  de la ecuación (4.1) se transforma a la posición de la plancha  $\beta$  del generador de oleaje según la siguiente ecuación:

$$\beta(n) = \frac{1}{F} h(n)$$

Donde:

F : Eficiencia del generador de oleaje que se define como sigue:

$$F = \frac{4 \operatorname{Sen} h^2(Rh)}{2Rh + \operatorname{sen} h(2Rh)}$$

Donde:

R : Número de olas

h : Profundidad del agua

L : Longitud de la ola

El valor de esta posición  $\beta(n)$  cambia de valor en un número que está definido entre 0 y 4095, donde 4095 corresponde a la máxima posición hacia adelante, 2048 corresponde a la posición neutral y 0 corresponde a la máxima posición hacia atrás. Estos números se transforman a voltaje eléctrico de la señal usando el A.I.O. BOARD.

#### 4.2 Medición del Oleaje

El sistema de la medición de oleaje se indica esquemáticamente en la figura (4.3) donde se utilizaron los equipos siguientes  
(1) Ológrafo de tipo capacitivo

El ológrafo está compuesto por un amplificador y un sensor. El sensor se instala dentro del agua y el amplificador se coloca en la caseta de control.

Este equipo mide las variaciones de la superficie del agua, transformándolas a señal electrónica.

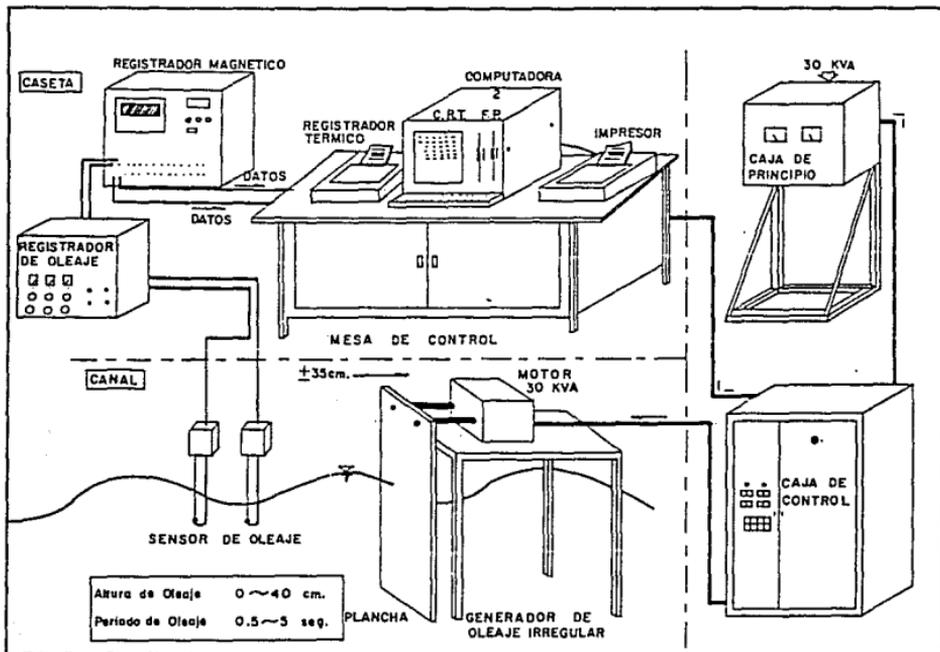


FIGURA 4.5  
Equipos de Generación y Medición del Oleaje .

## (2) Mecanismo de Elevación

Este mecanismo se utiliza para realizar la calibración del sensor, permitiendonos realizar movimientos ascendentes y descendentes del sensor, automáticamente controlados desde la caseta.

## (3) Registrador Térmico

Este equipo se utiliza para registrar en forma gráfica la señal del ológrafo, puede registrar a diferentes velocidades de papel y a diferentes voltajes.

## (4) Registrador Magnético

Este equipo permite registrar y almacenar la señal eléctrica del ológrafo en cinta magnética.

Utilizando los equipos descritos, el oleaje se midió en cada intersección de la malla descrita en el capítulo 3.2

## 4.3 Análisis de los Registros de Oleaje

Los registros de oleaje obtenidos en los ensayos, se analizaron utilizando la computadora personal descrita en el inciso 4.2

El método de análisis se basa en la utilización de 4 subrutinas las cuales conforman el programa principal utilizado para tal efecto, este se describe detalladamente en la referencia 3(p.p.89-103). A continuación se cita de manera general el contenido de las subrutinas

### (1) Subrutina para la calibración del sensor de oleaje

La relación entre la altura del oleaje medido "Y" en (cm.) y el voltaje eléctrico del equipo de medición "X" en (voltios) se relaciona mediante la siguiente ecuación

$$y = AX + B$$

Donde: A y B son constantes

Al medir el voltaje en cada tiempo cuando el sensor del ológrafo se desplaza en la dirección vertical con la misma distancia se obtendrá un registro de medición como se muestra en la figura (4.4).

En la figura mencionada, A(I) corresponde a la distancia vertical de cada escalón en (cms.) desde el nivel de reposo.

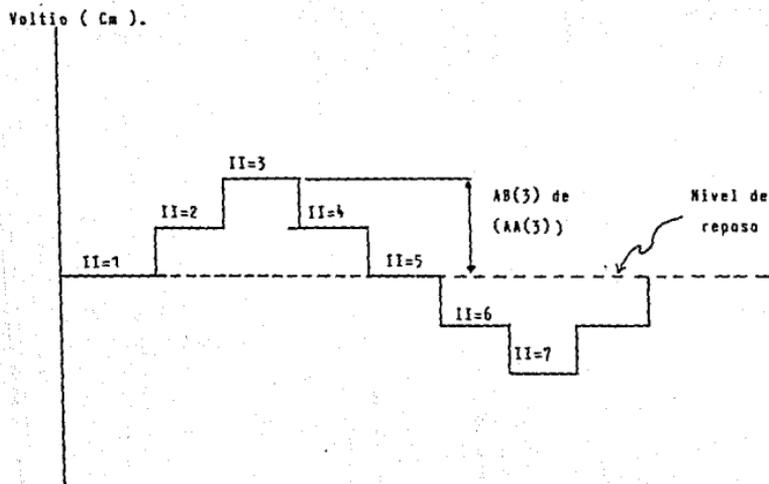


Figura 4.4 Registro de la Calibración del Oleaje.

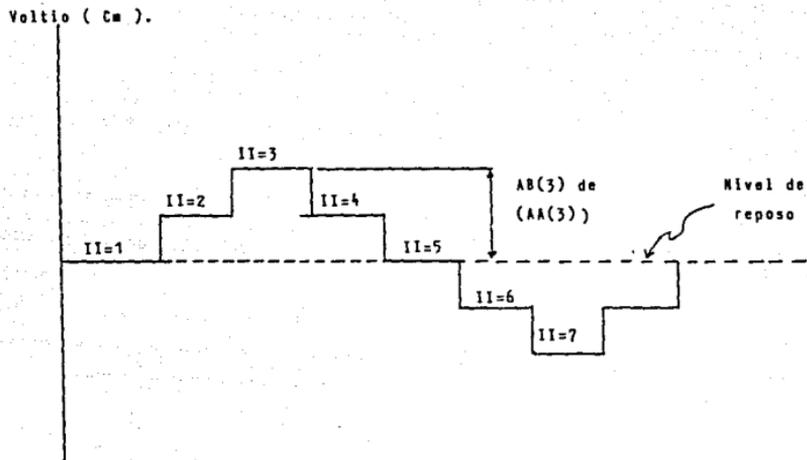


Figura 4.4 Registro de la Calibración del Oleaje.

El procedimiento de análisis de los registros de oleaje consiste principalmente en medir el voltaje contra los desplazamientos verticales del sensor, el ológrafo de tipo capacitivo cambia el nivel del agua en una señal análoga. Esta señal registrada se almacena en el registrador magnético y con ayuda del A.I.O. BOARD se transforma de señal analógica a dato digital para memorizarse en la computadora, memorizándose siempre 6144 datos en el A.I.O. BOARD.

El registro de oleaje se discretiza en intervalos de tiempo, correspondiendo dichos intervalos a 0.25, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 y 500 milisegundos.

Usando el cálculo de regresión lineal entre los valores registrados de "Y" en (cms.) y "X" en voltios se obtendrá la relación entre estas 2 variables tal como se muestra en la figura (4.5)

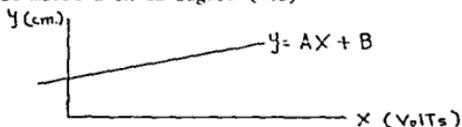


Figura 4.5 Regresión lineal

Donde :

$$A = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{N \sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i}$$

$$B = \frac{\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i Y_i}{N \sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i}$$

## (2) Subrutina para entrada de datos analógicos de oleaje.

De la misma manera como se menciona en la subrutina anterior la señal del oleaje incidente se registra usando el sensor y el ológrafo, esta señal se almacena igualmente en el registrador magnético. Transformando en el A.I.O. BOARD la señal analógica a señal digital para memorizarse en la computadora.

Se obtiene una muestra de la señal de oleaje memorizada debiéndose definir un intervalo de tiempo en (seg.) para el muestreo. El intervalo de tiempo de muestreo se definirá tomando en consideración los 6144 datos memorizados en el A.I.O. BOARD, de esta manera se podrá estar en posibilidades de definir el tiempo necesario para obtener los 6144 datos del A.I.O.

BOARD de acuerdo con lo siguiente :

(a) TM	=	6144 X 0.005	=	30.72
(b) TM	=	6144 X 0.01	=	61.44
(c) TM	=	6144 X 0.05	=	307.2
(d) TM	=	6144 X 0.1	=	614.4

Donde:

TM = Tiempo necesario para sacar los 6144 datos del A.I.O. BOARD una vez obtenida la muestra de datos de oleaje y con ayuda de la relación  $Y = AX + B$  obtenida en la subrutina anterior, se realiza la transformación a altura de ola.

### (3) Subrutina para el análisis estadístico

Esta subrutina localiza el nivel medio de la onda memorizada en la computadora y calcula la desviación estandard de los oleajes registrados, localizando los puntos donde el perfil del oleaje cruce el nivel de agua de abajo hacia arriba determinando el nivel máximo y mínimo dentro de cada oleaje.

El método de cálculo de la altura y período de cada oleaje se describe con detalle en la ref. 3(p.p.101-103), posteriormente ordena por tamaño - las alturas de ola calculando de esta manera la altura de ola significativa ( $H_{1/3}$ ), el período de ola significativo ( $T_{1/3}$ ) y la altura de ola media ( $\bar{H}$ ) del registro de oleaje memorizado en la computadora.

### (4) Subrutina de la potencia espectral

En esta se realiza la suavización del espectro del registro del oleaje con el fin de quitar los picos, haciendo uso de la transformada de Fourier de la circunvolución y determina la ventanilla de datos de suavización del espectro, dicha ventanilla actúa como filtro de paso en banda (band-pass filter) porque pasan solamente las componentes del dominio del ancho de banda de la frecuencia. La teoría de lo mencionado se describe detalladamente en ref. 3(p.p.68-88).

## 4.4 Cálculo del Coeficiente de Agitación

El cálculo del coeficiente de agitación es especialmente importante en los casos en los que se requiere conocer la distribución de oleajes en las zonas interiores de los puertos.

La estimación se puede realizar por medio de soluciones gráficas. Sin embargo las soluciones gráficas son menos precisas que las obtenidas por medio de modelos hidráulicos. De igual manera existen simulaciones numéricas que permiten encontrar la distribución de oleaje en el interior de los puertos, pero al igual que las soluciones gráficas la precisión está sujeta a las condiciones de frontera a las que se someta el modelo numérico. Principalmente en la frontera en donde halla reflexión de oleaje. Debiéndose calibrar dichas fronteras con los resultados obtenidos de un modelo hidráulico.

La distribución de la energía del oleaje que se presenta en la zona interior de un puerto cuando existen obras exteriores de protección, comúnmente se expresa a partir del coeficiente de agitación, el cual se define como la relación del oleaje que se tiene en el interior del puerto y el oleaje incidente, y se expresa analíticamente:

$$K_A = \frac{H_0}{H_i}$$

Donde :

$K_A$  indica coeficiente de agitación

$H_0$  indica altura de ola en el interior del puerto

$H_i$  indica altura de ola incidente

En el presente estudio el coeficiente de agitación se calculó con la relación antes indicada, determinando el valor de la altura de ola incidente como el promedio aritmético de las alturas de ola registradas en los puntos de cruce de la cuadrícula, localizados entre los morros de los rampeolas del puerto y la zona exterior. Tal como se muestra en la figura 4.6.

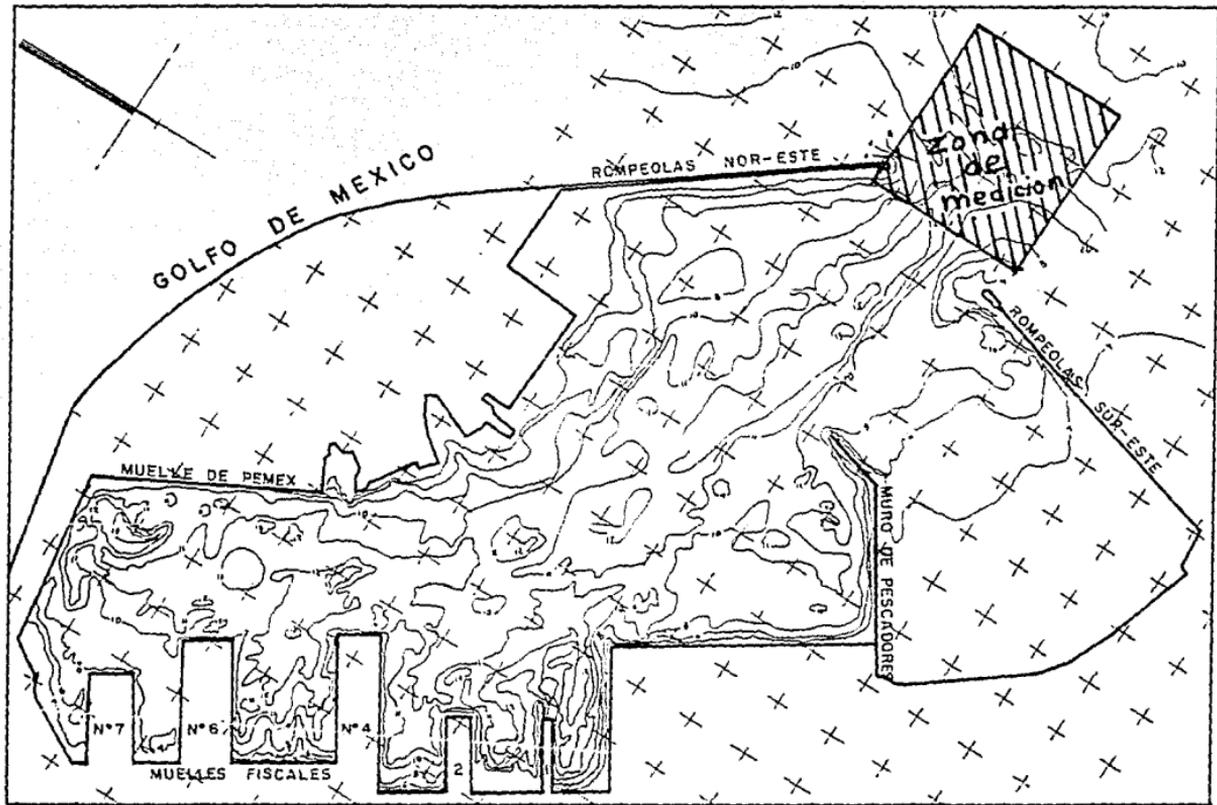


Figura 4.6 Zona de Medición del Oleaje Incidente.

## 5. ALTERNATIVAS ESTUDIADAS Y ENSAYOS REALIZADOS

### 5.1 Alternativas a Estudiar

Las diferentes alternativas ensayadas, las cuales tienen por objeto reducir la agitación que se presenta en la zona de estudio se denominaron genéricamente como :

- (1) Condiciones actuales
- (2) Pedraplen
- (3) Pedraplen, Muelle y Prolongación rompeolas Sur-este.
- (4) Pedraplen, Muelle y prolongación rompeolas Nor-este.
- (5) Muelle y estructuras en el antepuerto.

La descripción detallada de las características geométricas de las alternativas estudiadas se explican a continuación :

Alternativa condiciones actuales.

Esta alternativa consistió en representar geoméricamente al Puerto, de acuerdo a la planeación actual. Tal como se muestra en la figura 5.1

Alternativa Pedraplen.

Esta alternativa consistió en representar geoméricamente al Puerto, de acuerdo a la planeación actual. Adicionando un pedraplen de 150 m. de longitud y con talud 2:1 en el muro de pescadores. Tal como se muestra en la figura 5.2

Alternativa Pedraplen, Muelle y Prolongación rompeolas Sur-Este.

Esta alternativa consistió en representar geoméricamente al Puerto, de acuerdo a la planeación actual. Adicionando un pedraplen de 150 m. de longitud y un talud de 2:1 en el muro de pescadores, colocando el muelle que se tiene contemplado construir y prolongando 100 m. el rompeolas Sur-este siguiendo la alineación del rompeolas actual. Las características de esta alternativa, se muestran en la figura 5.3

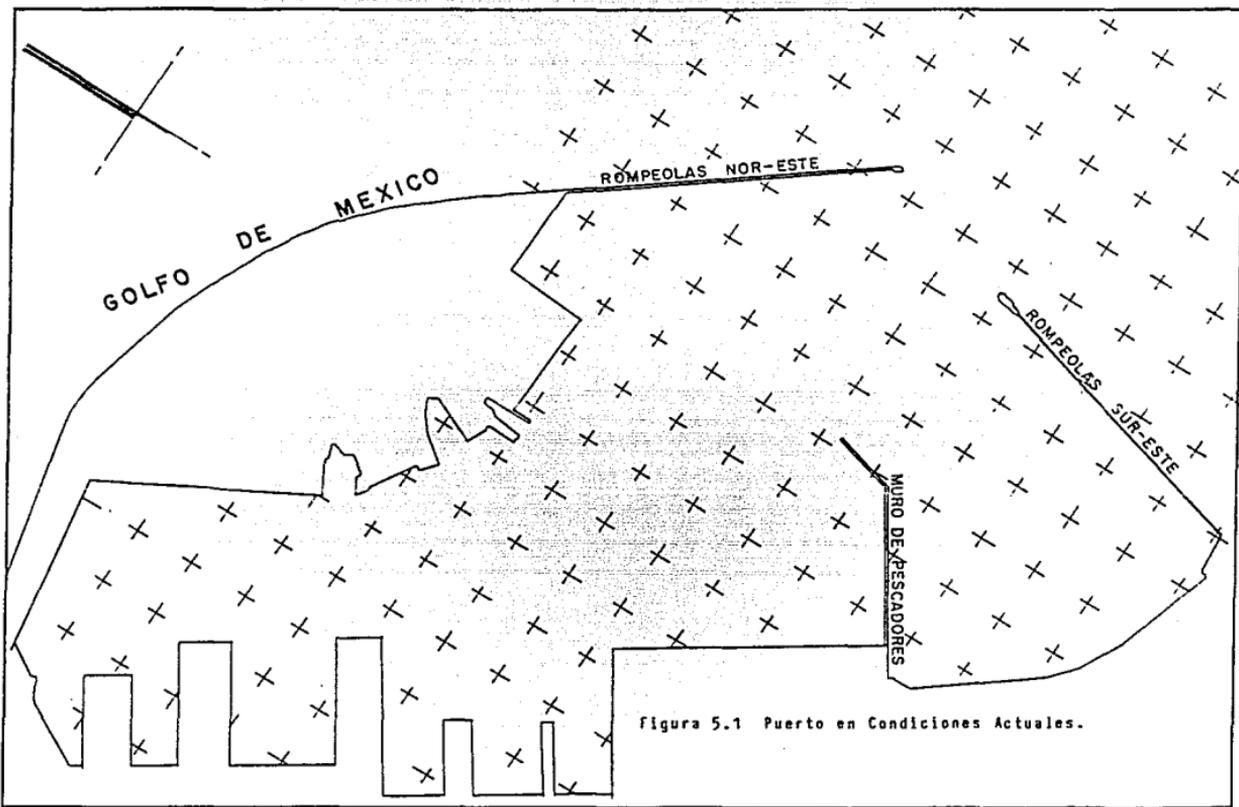


Figura 5.1 Puerto en Condiciones Actuales.

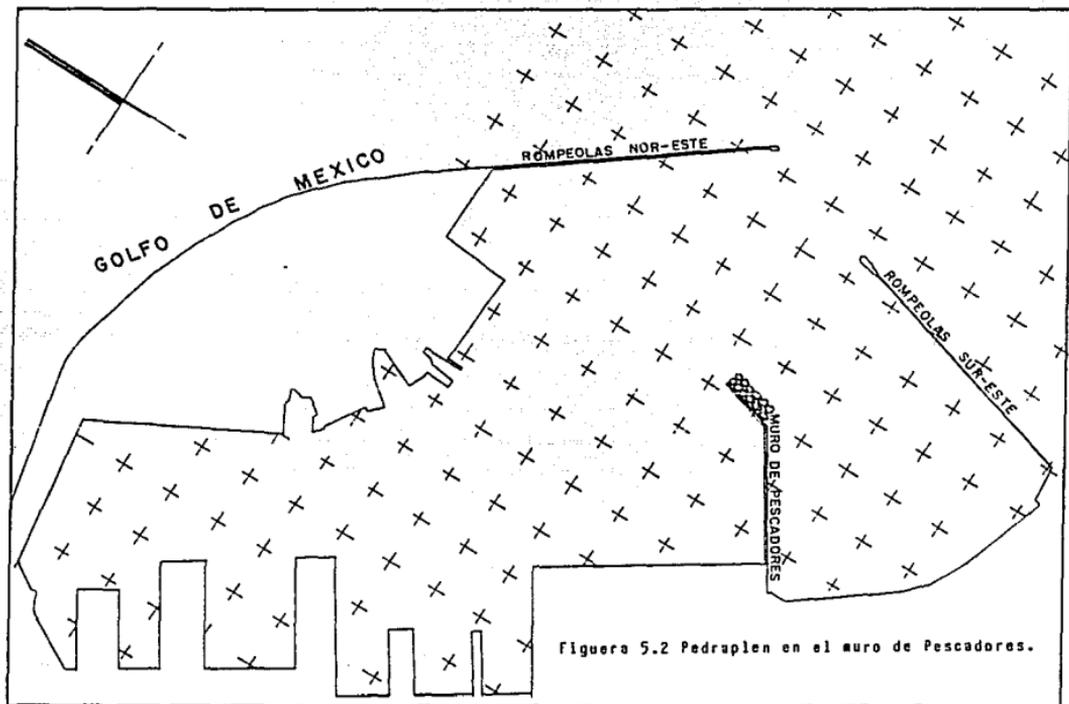


Figura 5.2 Pedraplen en el muro de Pescadores.

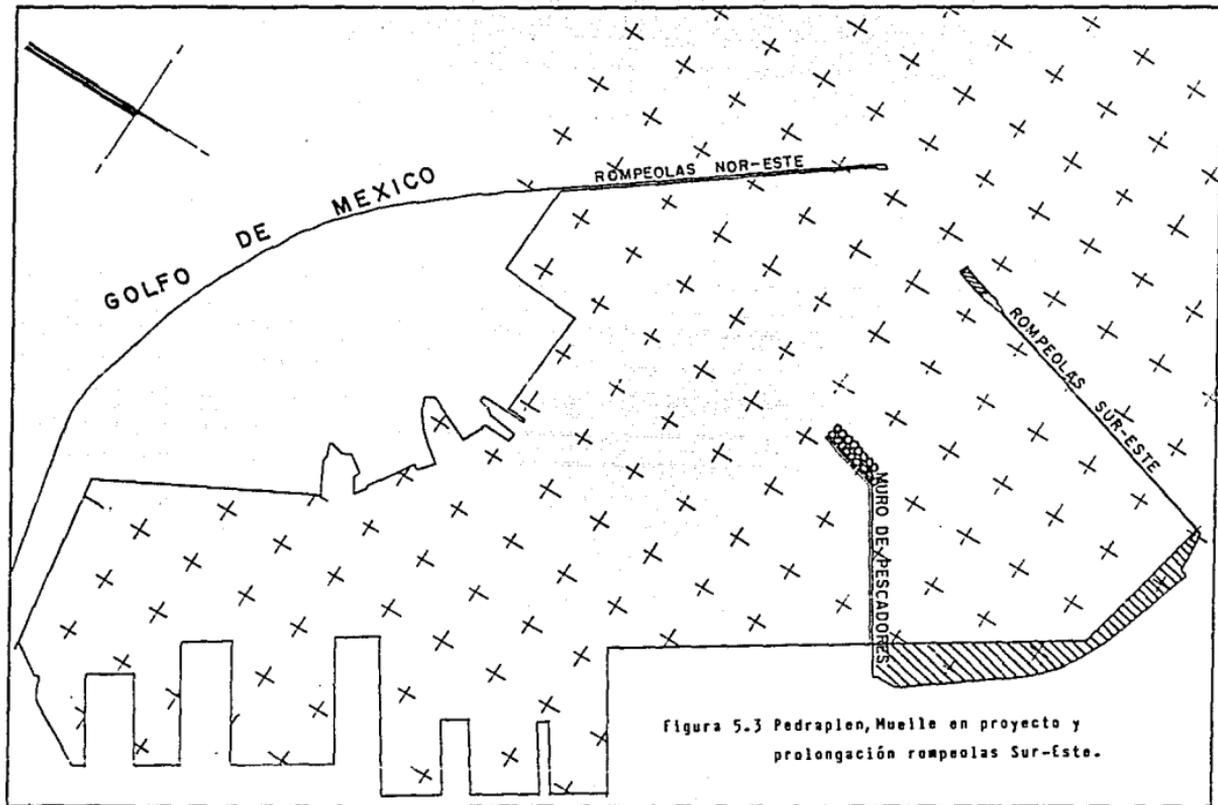


Figura 5.3 Pedraplen, Muelle en proyecto y prolongación rompeolas Sur-Este.

#### Alternativa Pedraplen, Muelle y Prolongación rompeolas Nor-este.

Esta alternativa consistió en representar geoméricamente al Puerto, de acuerdo a la planeación actual. Adicionando un pedraplen de 150 m. - de longitud y un talud de 2:1 en el muro de pescadores, colocando el muelle que se tiene contemplado construir y prolongando 100 m. el rompeolas Nor-este siguiendo la alineación del rompeolas actual, las características de esta alternativa, se muestran en la figura 5.4

#### Alternativa Muelle y Estructuras en el antepuerto.

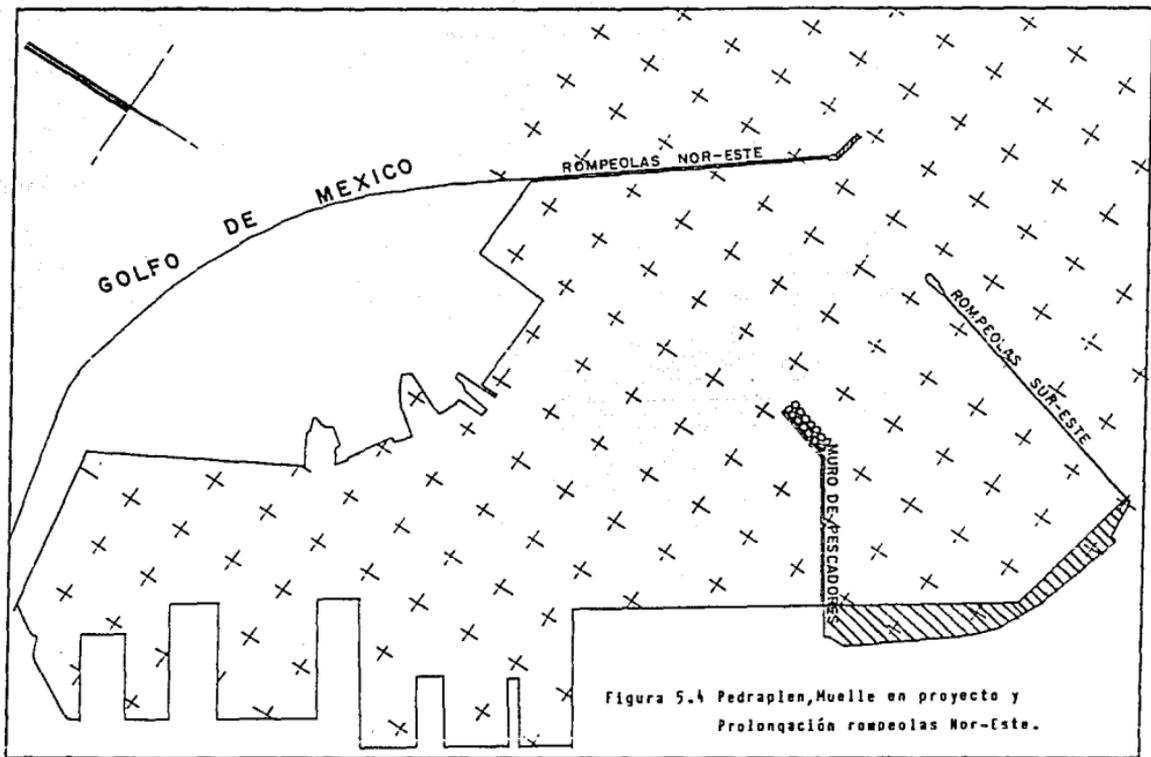
Esta alternativa consistió en representar geoméricamente al Puerto, de acuerdo a la planeación actual. Adicionando estructuras de protección de longitud corta ( 60 m. cada una ) en el antepuerto y colocando el muelle que se tiene contemplado construir. Tal como se muestra en la figura 5.5

#### 5.2 Condiciones de oleaje en los ensayos

Las alternativas descritas en el inciso anterior se ensayaron con oleaje irregular para las alternativas E. NE. SE y períodos de 8 y 10 segundos y la alternativa Condiciones actuales se ensayó con oleaje regular para la dirección Nor-este y con período de 8 segundos.

#### 5.3 Ensayos realizados.

Los ensayos realizados para las alternativas descritas en el inciso anterior se desarrollaron contemplando el programa de ensayos que a continuación se presenta :



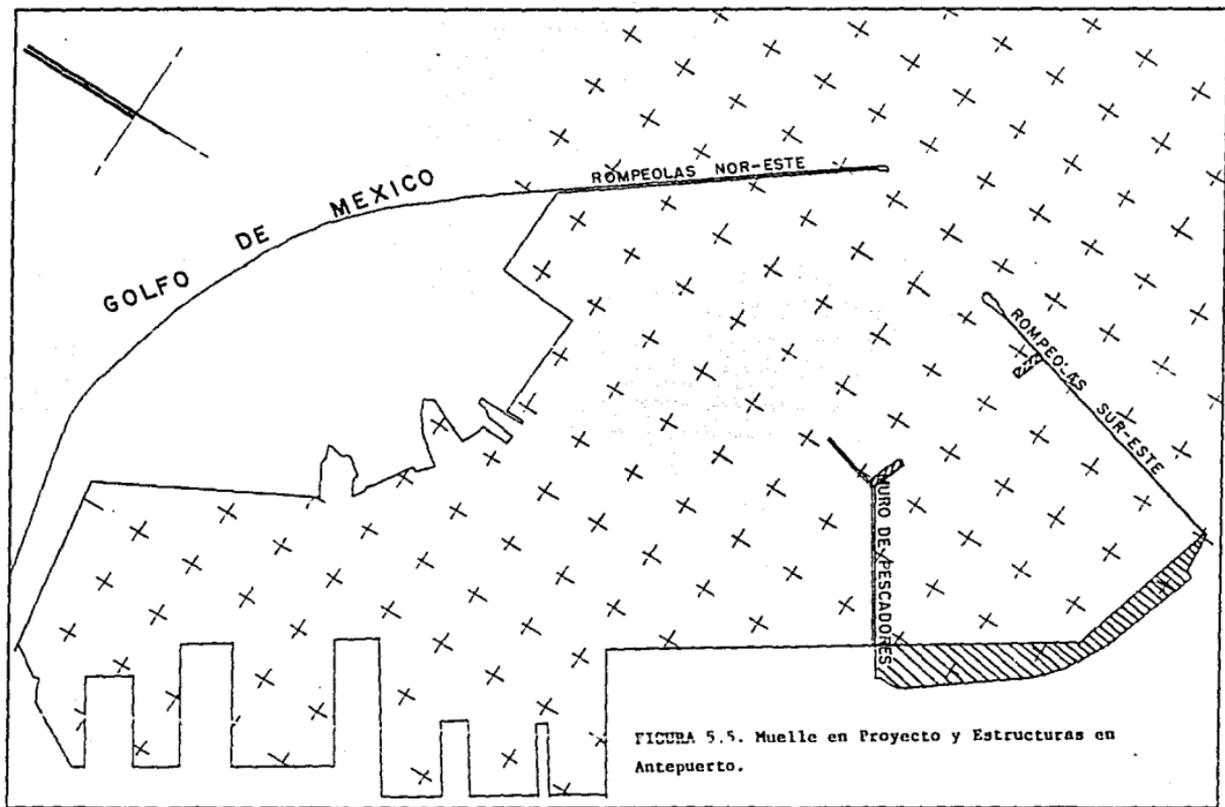


FIGURA 5.5. Muelle en Proyecto y Estructuras en Antepuerto.

ALTERNATIVA	DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO (seg).	TIPO DE OLEAJE	CONDICION
1	E	8	I	Actual
2	E	8	I	Pedraplen
3	E	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas SE
4	E	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE
5	E	10	I	Actual
6	E	10	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE
7	NE	8	I	Actual
8	NE	8	I	Muelle y pedraplen
9	NE	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas SE
10	NE	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE
11	NE	8	R	Actual
12	NE	8	I	Muelle
13	NE	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE 200 m.
14	NE	8	I	Muelle y estructuras antepuerto
15	NE	10	I	Actual
16	NE	10	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE
17	SE	8	I	Actual
18	SE	8	I	Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas NE

Notación : I = Oleaje irregular , R = Oleaje regular.

## 6. RESULTADOS

En los planos número E y L 57.111 al E y L 57.128, se muestran los resultados obtenidos de la distribución de los coeficientes de agitación para las alternativas estudiadas.

A continuación se presenta el análisis realizado de los ensayos para cada una de las alternativas estudiadas.

(a) Análisis de resultados considerando la dirección y el período del oleaje.

Alternativa condiciones actuales.

Las características con que se realizaron los ensayos para este arreglo se resumen en la siguiente tabla :

DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO DEL OLAJE (seg)	RANGO DEL COEFICIENTE DE AGITACION EN LA ZONA DEL MUELLE EN PROYECTO.	COEFICIENTE DE AGITACION PROMEDIO	TIPO DE OLEAJE
Este	8	0.10 - 0.50	0.20	Irregular
	10	0.30 - 0.40	0.35	Irregular
Nor-este	8	0.20 - 0.50	0.35	Irregular
	8	0.30	0.30	Regular
	10	0.30 - 0.50	0.40	Irregular
Sur-este	8	0.10 - 0.20	0.15	Irregular

Los resultados de agitación de los ensayos realizados para esta alternativa se muestran en los planos números E y L 57.111, 57.115, 57.117, 57.121, 57.122 y 57.124 respectivamente.

Del análisis de los planos de agitación, se observa que la mayor agitación para las direcciones estudiadas corresponde para los períodos de 8 y 10 segundos de la dirección Nor-este, presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.40 para el período de 10 segundos, 0.35 para el período de 8 segundos con oleaje irregular y de 0.30 para el período de 8 segundos con oleaje regular.

### Alternativa Pedraplen.

Las características con que se realizaron los ensayos para este arreglo se resumen en la siguiente tabla :

DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO DEL OLEAJE (seg)	RANGO DEL COEFICIENTE DE AGITACION EN LA ZONA DEL MUELLE EN PROYECTO.	COEFICIENTE DE AGITACION PROMEDIO	TIPO DE OLEAJE
Este	8	0.10	0.10	Irregular

Los resultados de agitación de los ensayos realizados para esta alternativa se muestran en el plano número E y L 57.112.

Del análisis del plano de agitación, se pudo observar que para la dirección Este y período de 8 segundos se presentó un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.10 con oleaje irregular.

### Alternativa: Pedraplen, Muelle y Prolongación rompeolas Sur-este.

Las características con las que se realizaron los ensayos para este arreglo se resumen a continuación :

DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO DEL OLEAJE (seg.)	RANGO DEL COEFICIENTE DE AGITACION EN LA ZONA DEL MUELLE EN PROYECTO.	COEFICIENTE DE AGITACION PROMEDIO	TIPO DE OLEAJE
Este	8	0.15	0.15	Irregular
Nor-este	8	0.50 - 0.60	0.55	Irregular

Los resultados de agitación de los ensayos realizados para esta alternativa se muestran en los planos números E y L 57.113, E y L 57.119 .

Del análisis de los planos anteriores, se observa que la mayor agitación para las direcciones estudiadas es mayor para la dirección Nor-este y período 8 segundos, presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.55 .

Alternativa : Pedraplen, Muelle y Prolongación rompeolas Nor-este.

Las características con que se realizaron los ensayos para este arreglo se resumen en la siguiente tabla :

DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO DEL OLEAJE (seg.)	RANGO DEL COEFICIENTE DE AGITACION EN LA ZONA DEL MUELLE EN PROYECTO.	COEFICIENTE DE AGITACION PROMEDIO	TIPO DE OLEAJE
Este	8	0.30 - 0.40	0.35	Irregular
	10	0.20 - 0.30	0.25	Irregular
Nor-este	8	0.10 - 0.20	0.15	Irregular
	8*	0.10	0.10	Irregular
	10	0.30	0.30	Irregular
Sur-este	8	0.10 - 0.15	0.125	Irregular

Los resultados de agitación de los ensayos realizados para esta alternativa se muestran en los planos números E y L 57.114, E y L 57.116, E y L 57.120, E y L 57.123, E y L 57.127 y E y L 57.125 .

Del análisis de los planos anteriores, se observa que la mayor agitación para las direcciones estudiadas es mayor para los periodos de 8 segundos de la dirección Este, presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.40 para el periodo de 8 segundos, presentándose el menor coeficiente de agitación para la dirección Nor-este y periodo de 8\* segundos .

Alternativas : Muelle, Muelle pedraplen y Muelle estructuras en antepuerto.

Las características con que se realizaron los ensayos para este arreglo se resumen en la siguiente tabla :

\*La prolongación del rompeolas fué de 200 m.

DIRECCION DEL OLEAJE	PERIODO DEL OLEAJE (seg.)	RANGO DEL COEFICIENTE DE AGITACION EN EL ZONA DEL MUELLE EN PROYECTO.	COEFICIENTE DE AGITACION PROMEDIO	TIPO DE OLEAJE
Nor-este	8 (1)	0.30 - 0.50	0.40	Irregular
	8 (2)	0.30 - 0.40	0.35	Irregular
	8 (3)	0.30 - 0.60	0.45	Irregular

Los resultados de agitación de los ensayos realizados para esta alternativa se muestran en los planos números E y L 57.118, E y L 57.126 y E y L 57.128 .

Del análisis de los planos anteriores, se observa que la mayor agitación para las direcciones estudiadas es mayor para el período de 8 segundos de la dirección Nor-este presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.45 para el período de 8 (3) segundos, presentándose el menor coeficiente de agitación para el período de 8 (2) segundos.

(1) Muelle

(2) Muelle-pedraplen

(3) Muelle- Estructuras en Antepuerto

(b) Análisis de Resultados Comparando las Alternativas

En la zona de proyecto se obtuvieron los coeficientes de agitación, con objeto de relacionarlos con la distancia a lo largo de la sección seccionada ( Fifura 6.1 ) para el análisis .

Los resultados de las relaciones obtenidas se describen a continuación:

Dirección Este, T = 8 segundos

Las alternativas relacionadas correspondieron a las siguientes:

Alternativa No. 1 Puerto en condiciones actuales

Alternativa No. 2 Pedraplen en el muro de pescadores

Alternativa No. 3 Pedraplen, Muelle en proyecto y Prolongación rampeo las Sur-este

Alternativa No. 4 Pedraplen, Muelle en proyecto y Prolongación rampeo las Nor-este

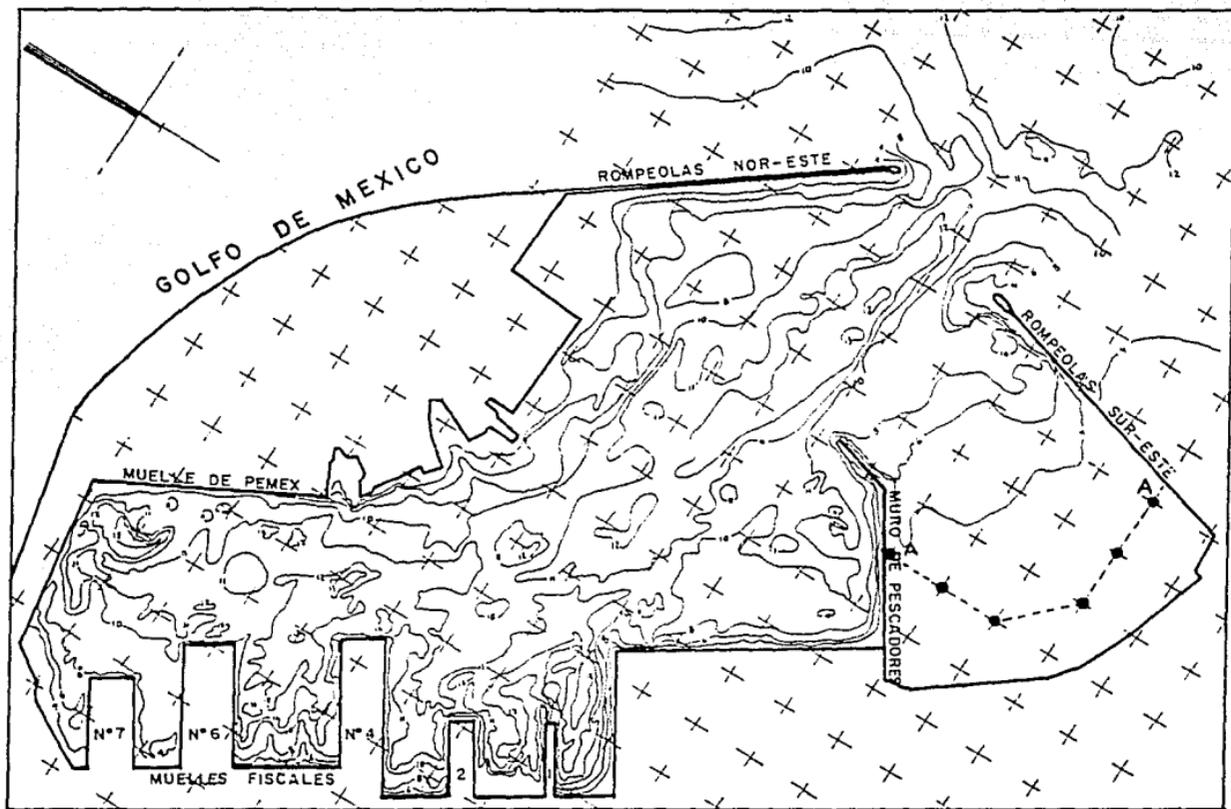


Figura b.1 Sección de Comparación.

En la gráfica 6.2 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la Alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación corresponde a la número 4, observándose que la número 3 presenta la menor distribución.

Dirección Este, T = 10 segundos

Las Alternativas comparadas correspondieron a las siguientes:

Alternativa No. 5 Puerto en condiciones actuales

Alternativa No. 6 Pedraplan, Muelle en proyecto y prolongación rompeolas Nor-este.

En la gráfica 6.5 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 5

Dirección Nor-este T = 8 segundos

Las alternativas comparadas correspondieron a las siguientes :

Alternativa No. 7 Puerto en condiciones actuales (oleaje irregular)

Alternativa No. 11 Puerto en condiciones actuales (Oleaje regular)

En la gráfica 6.4 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 7, observándose que la número 11 presenta la menor distribución.

Dirección Nor-este, T = 8 segundos

Las alternativas comparadas correspondieron a las siguientes :

Alternativa No. 8 Muelle en proyecto y pedraplen en muro de pescadores.

Alternativa No. 9 Pedraplen, muelle en proyecto y prolongación rompeolas Sur-este.

GRAFICA 6.2

SECCION

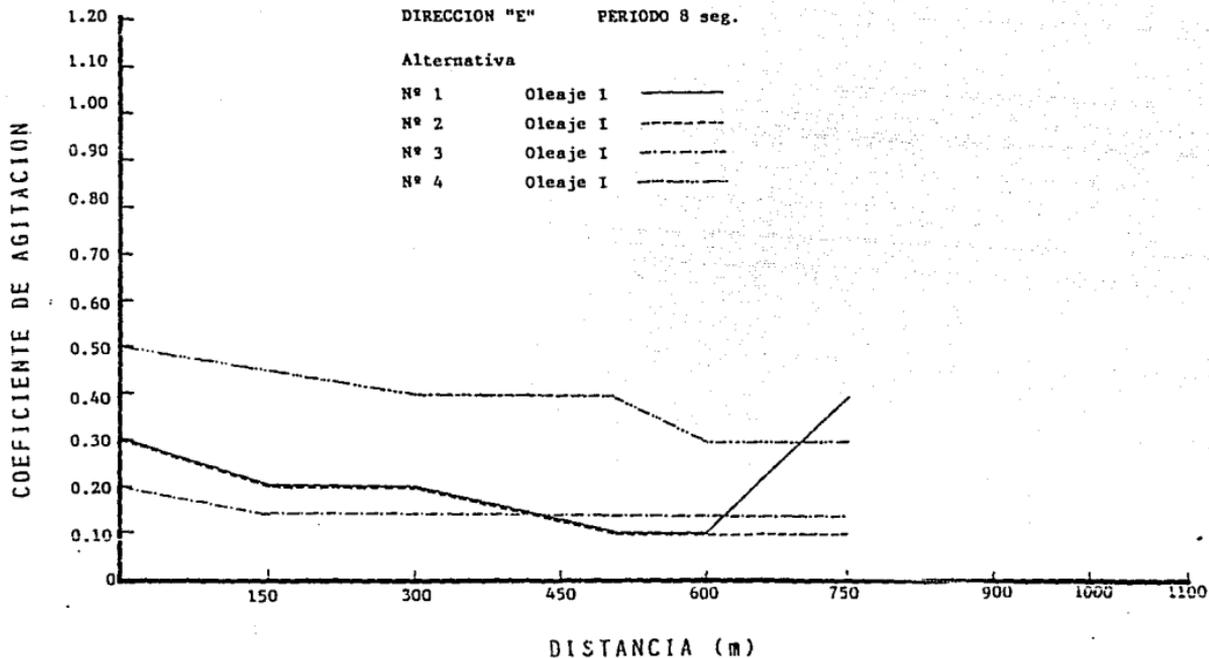
A-A

DIRECCION "E"

PERIODO 8 seg.

Alternativa

Nº 1	Oleaje I	—————
Nº 2	Oleaje I	- - - - -
Nº 3	Oleaje I	- · - · -
Nº 4	Oleaje I	— · — · —



GRAFICA 6.3

SECCION A-A

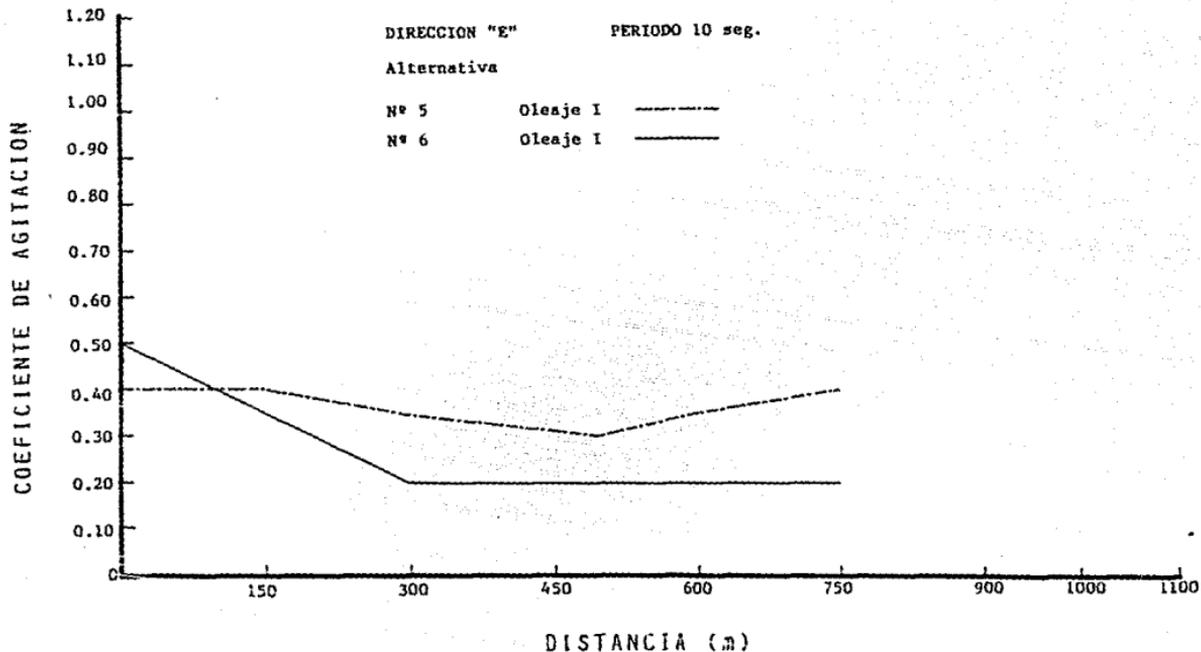
DIRECCION "E"

PERIODO 10 seg.

Alternativa

Nº 5 Oleaje I 

Nº 6 Oleaje I 



GRAFICA 6.4

SECCION A-A

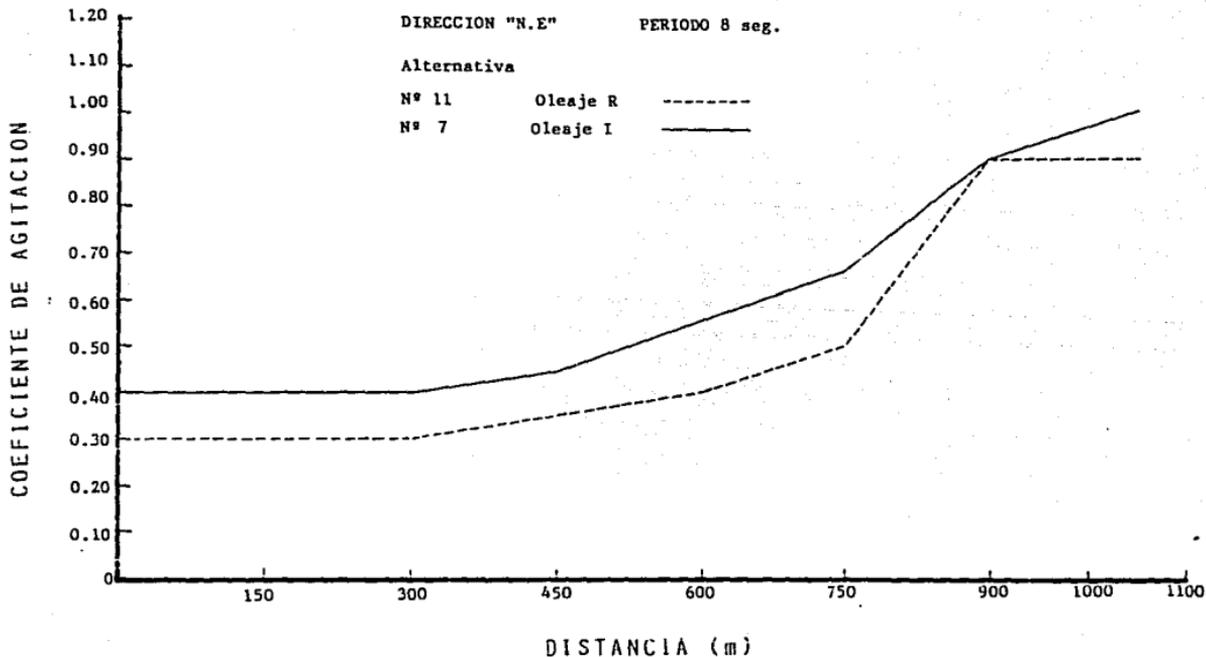
DIRECCION "N.E"

PERIODO 8 seg.

Alternativa

Nº 11 Oleaje R -----

Nº 7 Oleaje I \_\_\_\_\_



- Alternativa No. 10 Pedraplen, Muelle en proyecto y Prolongación rompeolas Nor-este
- Alternativa No. 12 Muelle en proyecto
- Alternativa No. 13 Pedraplen, muelle en proyecto y Prolongación rompeolas Nor-este 200 m.
- Alternativa No. 14 Muelle en proyecto y Estructuras en antepuerto.

En la gráfica 6.5 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la Número 9, observándose que la número 13 presenta la menor distribución.

Dirección Nor-este, T = 10 segundos

Las alternativas comparadas correspondieron a las siguientes :

- Alternativa No. 15 Puerto en condiciones actuales
- Alternativa No. 16 Pedraplen, Muelle propuesto y Prolongación rompeolas Nor-este

En la gráfica 6.6 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 15 .

Dirección Sur-este, T = 8 segundos

Las alternativas comparadas correspondieron a las siguientes:

- Alternativa No. 17 Puerto en condiciones actuales
- Alternativa No. 18 Pedraplen, muelle en proyecto y prolongación rompeolas Nor-este

En la gráfica 6.7 se muestran los resultados de las relaciones obtenidas, en donde se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 17, observándose que la número 18 presenta la menor distribución:

GRAFICA 6.5

SECCION

A-A

DIRECCION "N.E"

PERIODO 8 seg.

Alternativa

Nº 8 Oleaje I

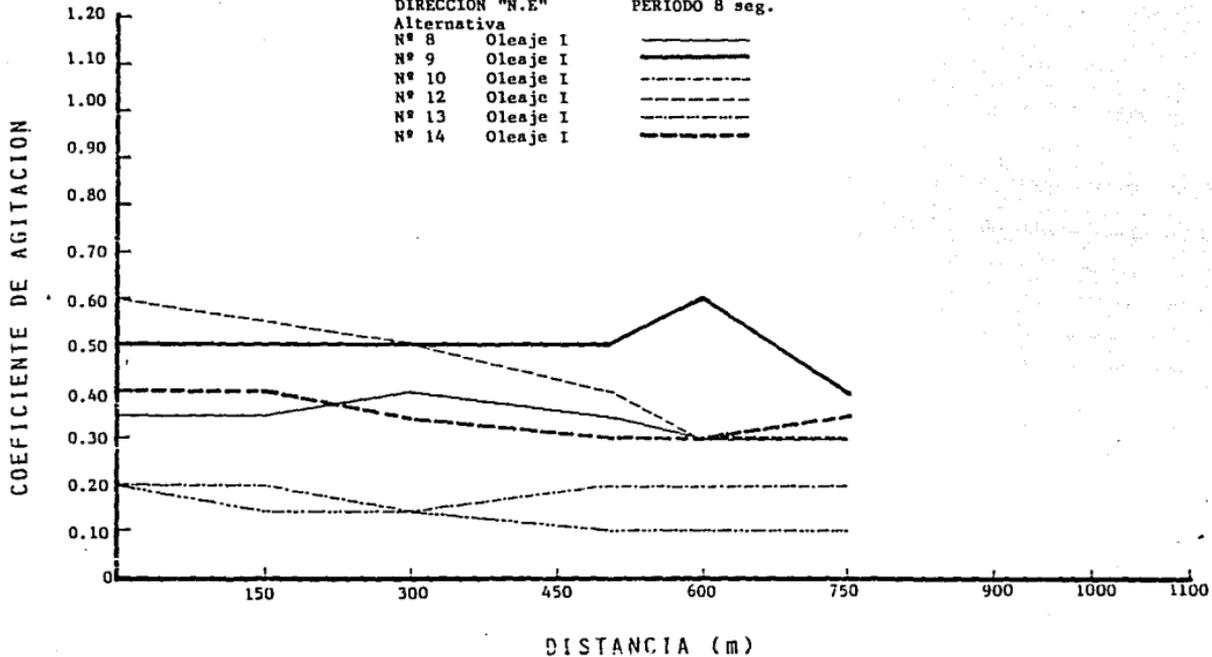
Nº 9 Oleaje I

Nº 10 Oleaje I

Nº 12 Oleaje I

Nº 13 Oleaje I

Nº 14 Oleaje I



GRAFICA 6.6

SECCION

A-A

DIRECCION "NE"

PERIODO 10 seg.

Alternativa

Nº 15

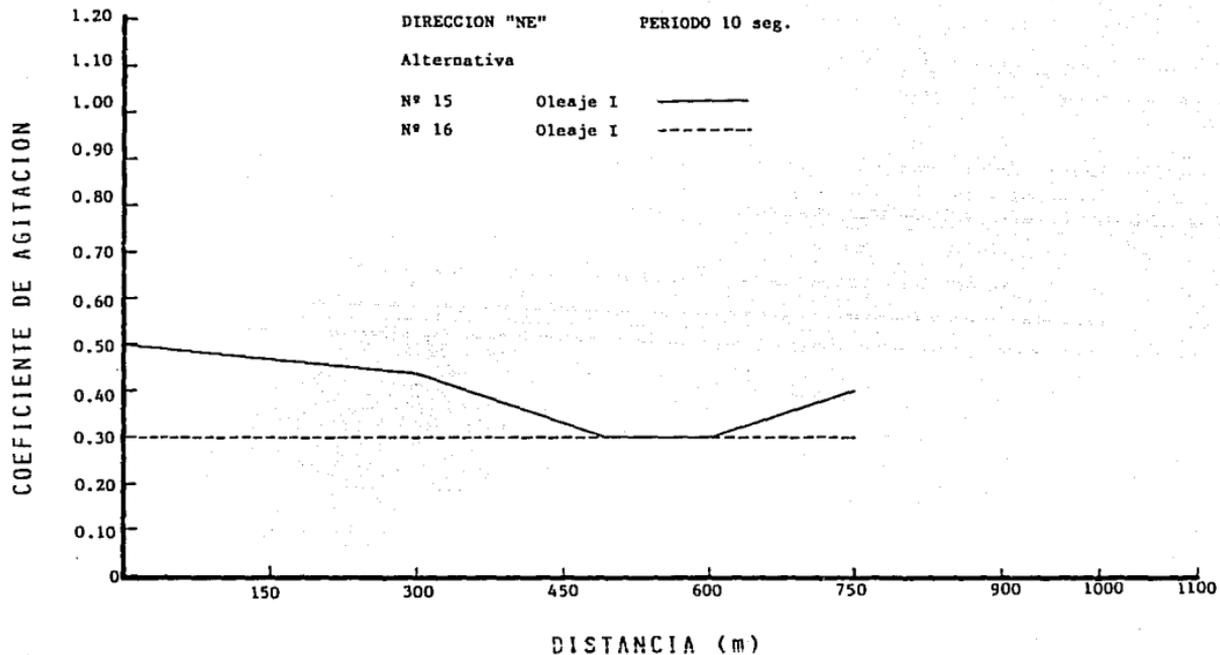
Oleaje I

—————

Nº 16

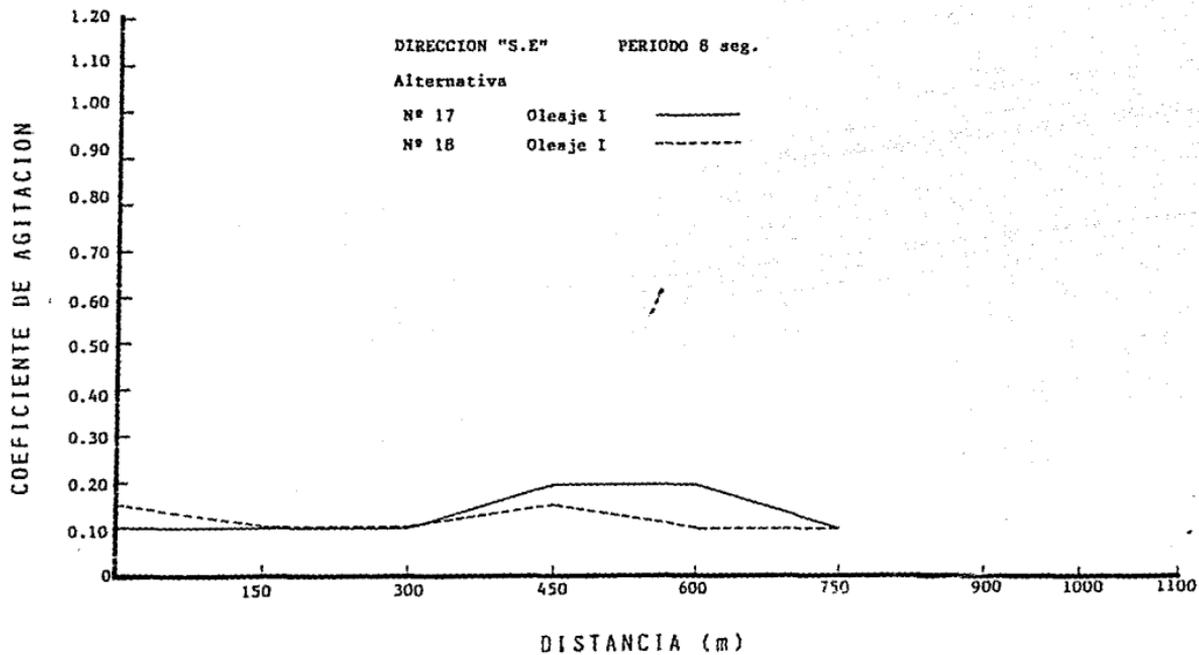
Oleaje I

- - - - -



GRAFICA 6.7  
SECCION

A-A



## 7 CONCLUSIONES

Después de la revisión de estudios pasados y de analizar los datos experimentales obtenidos durante la realización de los ensayos se tienen las siguientes conclusiones :

De la revisión de estudios pasados

- (1) El tipo de marea es mixta semidiurna
- (2) La altura de marea astronómica referida al nivel de bajamar media es de 0.522 m.
- (3) El mayor porcentaje (27.33%) de incidencia del viento dominante y reinante para las estaciones primavera y verano corresponde a la dirección "Este"
- (4) Los vientos reinantes y dominantes para la estación otoño presentan el (19.67%) de incidencia en la dirección "Norte"
- (5) En la estación invierno los vientos reinantes tienen una incidencia en la dirección "N, y SE", y los vientos dominantes una incidencia en la dirección "N, NW" presentando el 19.67% de la incidencia anual.
- (6) En el régimen anual los vientos mas frecuentes (vientos reinantes) corresponden a la dirección "Este", y los vientos dominantes corresponden a la dirección "Norte" con una velocidad máxima de 24.25 m/seg.
- (7) Para el régimen anual del oleaje normal, la dirección que presenta la mayor frecuencia para el oleaje local corresponde a la dirección "Este" con un 21.08% y para el oleaje distante corresponde a la "Noreste" con un 15.33% tomando como base la fuente "Sea and Swell."
- (8) Tomando como base la fuente "Ocean Waves Statistics" el oleaje que presenta el máximo porcentaje de incidencia para el régimen anual, corresponde a la dirección "Noreste" con un 34.85%, seguida por la dirección "Este" con un 15.11% y finalmente la "Sureste" con un 14.47% .
- (9) Tomando como base la fuente "Sea and Swell" para el oleaje local la altura de ola mayor es de 1.20 m. correspondiendo a la dirección "Noreste", para el oleaje distante la mayor altura de ola 2.37 m. corresponde a las direcciones "Este" y "Sureste".

- (10) Tomando como base la fuente "Ocean Waves Statistics", los períodos del oleaje están comprendidos entre 8.15 y 9.21 seg. para las direcciones "Este, Noreste y Sureste", presentándose el máximo período y la máxima altura de ola (1.86 m.) para la dirección "Sureste"

De los ensayos realizados

- (1) Al analizar los resultados considerando la dirección y período del oleaje se pudo observar :

- a) Alternativa condiciones actuales.- en esta se pudo observar que la mayor agitación para las direcciones estudiadas con los períodos de 8 y 10 seg. corresponde a la dirección "Noreste", presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.40 para el período de 10 seg., 0.35 para el período de 8 seg. con oleaje irregular y de 0.30 para el período de 8 seg. con oleaje regular.

En la zona del muelle fiscal No. 1 para el período de 8 seg. y direcciones de oleaje "Este y Sureste" se tienen coeficientes de agitación con valor de 0.30 respectivamente, presentándose para la dirección "Noreste" un coeficiente de agitación con valor de 0.20, y un coeficiente de 0.40 y 0.20 para las direcciones "Este y Noreste" con período de 10 seg. respectivamente .

- b) Alternativa pedraplen.- En esta se pudo observar que para la dirección "Este" y período de 8 seg. se presentó un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.10 con oleaje irregular.

En la zona del muelle fiscal No. 1 para el período de 8 seg. y dirección "Este" se presentan coeficientes de agitación menores de 0.15 .

- c) Alternativa pedraplen, muelle y prolongación rompeolas Sureste.- En esta se pudo observar que la mayor agitación para las direcciones estudiadas corresponde a la "Noreste" y período de 8 seg., presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.55

En la zona del muelle fiscal No. 1 se presentan coeficientes menores de 0.10 y 0.15 para las direcciones "Noreste y Este" respectivamente.

- d) Alternativa pedraplen, muelle y prolongacion rompeolas Noreste.- En esta se pudo observar que la mayor agitación para las direcciones estudiadas corresponde a la dirección "Este" presentándose un coeficiente de agitación promedio en la zona del muelle en proyecto de 0.45 para el período de 8 seg., presentandose el menor coeficiente de agitación para la dirección "Noreste" y período 8 seg.

En la zona del muelle fiscal No. 1 se presentan coeficientes menores de 0.20, 0.25, 0.30 para las direcciones "Sureste, Noreste y Este" respectivamente.

Para el período de 10 seg. se presentan coeficientes menores de 0.30 para las direcciones "Este y Noreste".

- e) Alternativas muelle, muelle pedraplen y muelle estructuras en el antepuerto.- En estas se pudo observar que la mayor agitación para la dirección "Noreste" con período de 8 seg. se presenta en la alternativa muelle estructuras en antepuerto con un coeficiente de agitación de 0.45 en la zona del muelle en proyecto, presentándose el menor coeficiente (0.35) para la alternativa muelle - pedraplen.

En la zona del muelle fiscal No. 1 se presentan coeficientes de agitación menores de 0.30.

- (2) Al analizar los resultados comparando las alternativas se pudo observar :

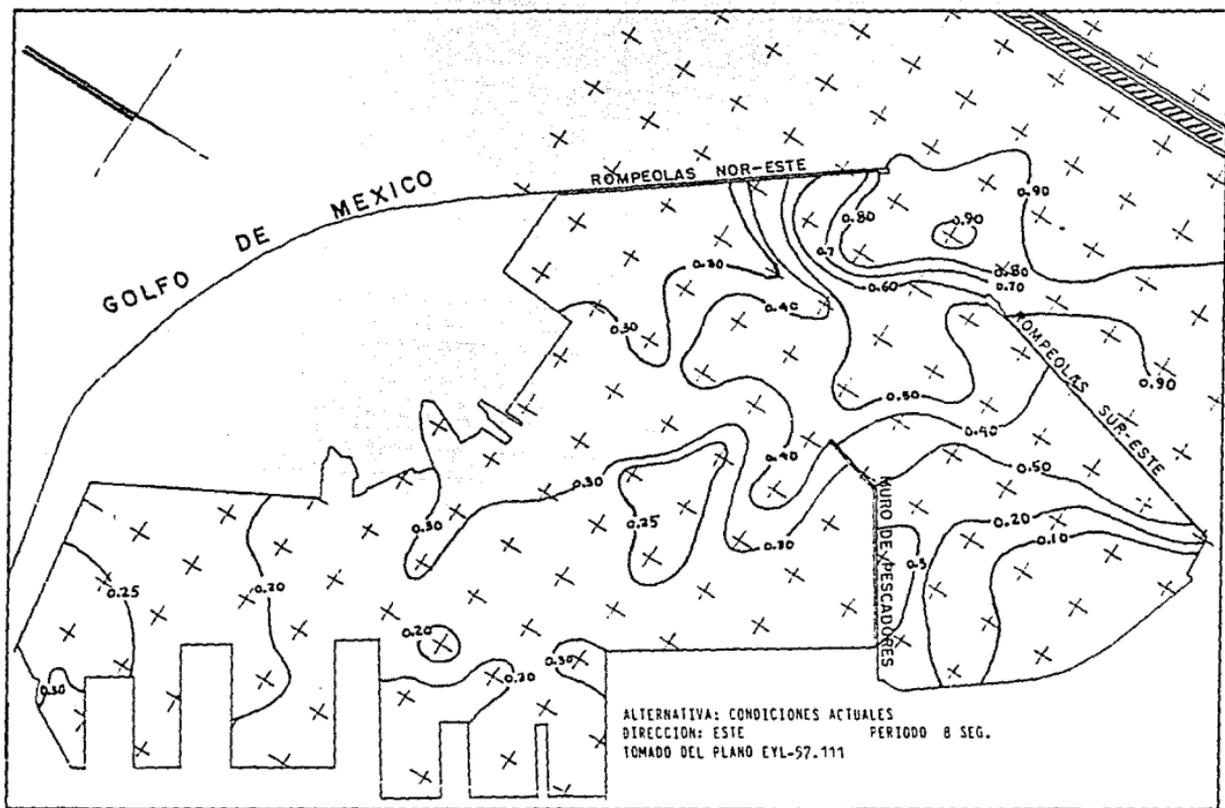
- a) Para la dirección "Este" y período 8 seg. se pudo observar que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación es la No. 4 (Muelle, pedraplen y prolongación rompeolas Noreste), observandose que la alternativa No. 3 (Pedraplen, muelle y prolongación rompeolas Sureste) presenta la menor distribución.
- b) Para la dirección "Este" y período 10 seg. se pudo observar que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la No. 5 (Condiciones actuales).
- c) Para la dirección "Noreste" período de 8 segundos se pudo observar que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la No. 7 (Condiciones ac-

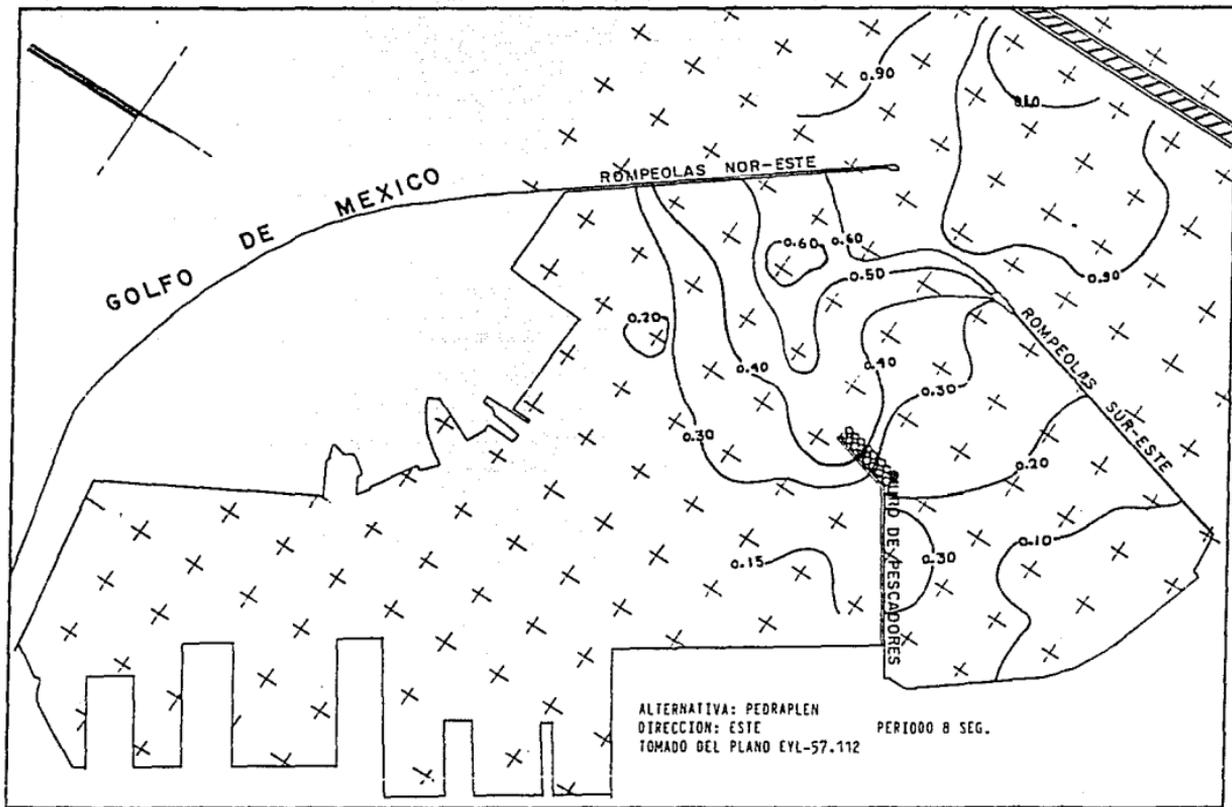
tuales, ensayadas con oleaje irregular), observandose que la alternativa número 11 (condiciones actuales, ensayada con oleaje regular) presenta la menor distribución

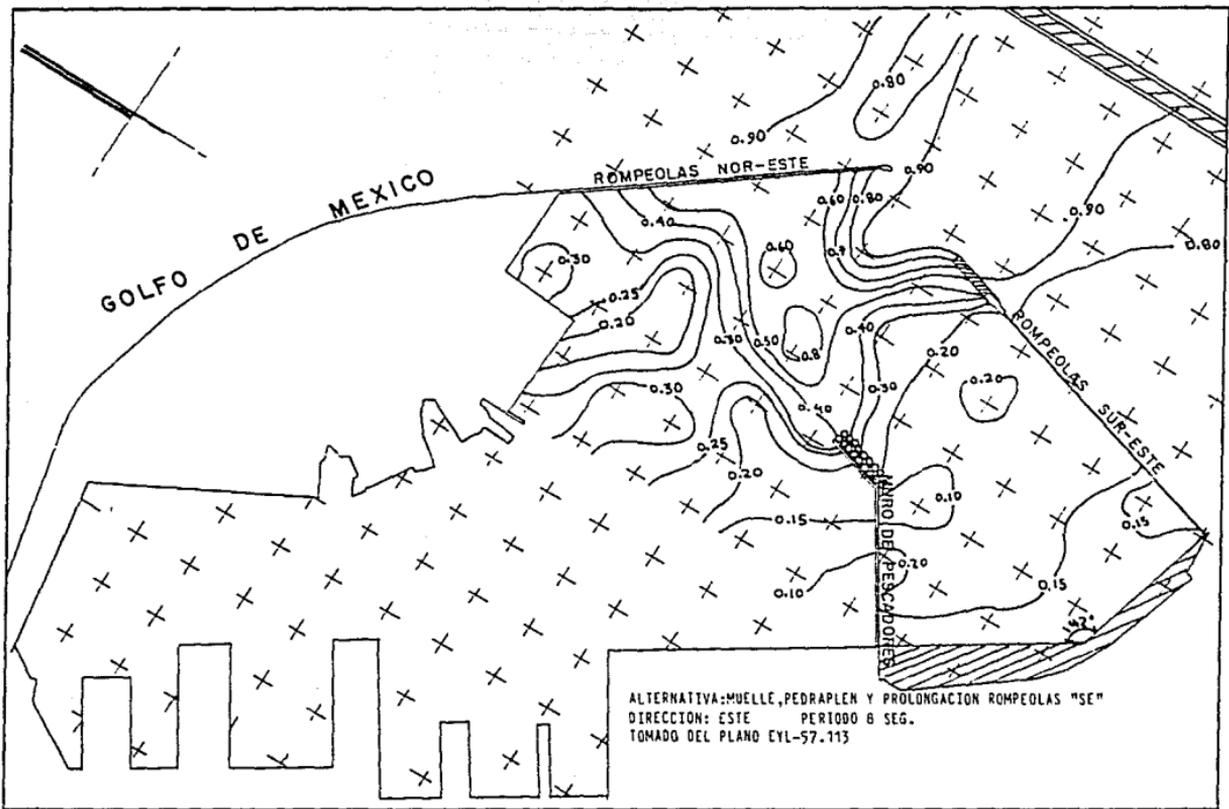
- d) Para la dirección "Noreste" y período de 8 seg., se observa que la alternativa que presenta mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la alternativa número 9 (muelle, pedraplen y prolongación rampeolas Sureste), observandose que la alternativa número 13 (muelle, pedraplen y prolongación rampeolas Noreste 200 m.) presenta la menor distribución.
- e) Para la dirección "Noreste" y período de 10 seg., se pudo observar que la alternativa que presenta la menor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 16 (muelle, pedraplen y prolongación rampeolas "Noreste").
- f) Para la dirección "Sureste" y período de 8 seg., se observa que la alternativa que presenta la mayor distribución de coeficientes de agitación, corresponde a la número 17 (condiciones actuales), observandose que la alternativa número 18 (muelle, pedraplen y prolongación rampeolas Noreste) presenta la menor distribución.
- g) Por lo antes expresado, se puede decir que la mejor alternativa desde el punto de vista hidráulico, corresponde a la consistente en prolongar 200 m. el rampeolas "Noreste" con un alineamiento paralelo al eje del canal, pudiendose aprovechar la zona comprendida entre el muro de pescadores y el rampeolas "Sureste" construyendo un muelle para embarcaciones turísticas con la longitud de atraque indicada en el plano E y L 57.127, además de construir un pedraplen de 150 m. de longitud en el muro de pescadores para garantizar condiciones favorables de agitación en la posible zona de aprovechamiento mencionada.

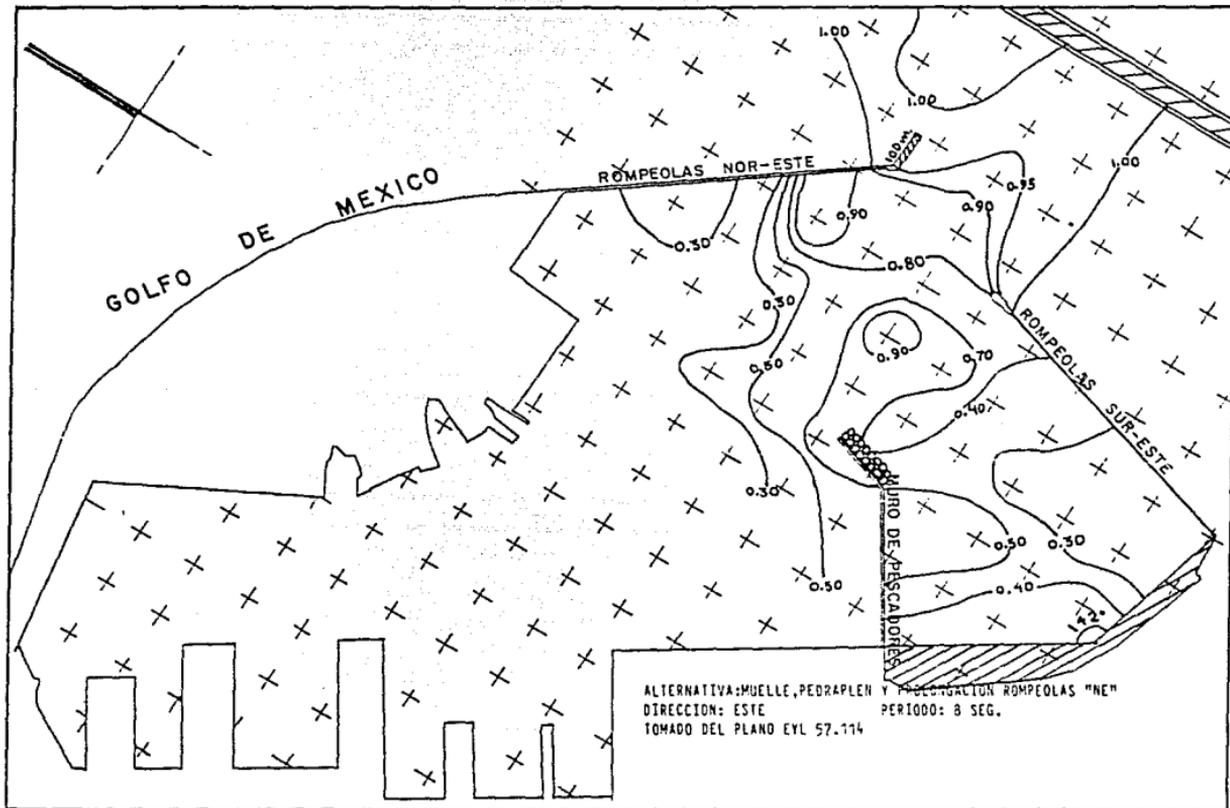
## B I B L I O G R A F I A

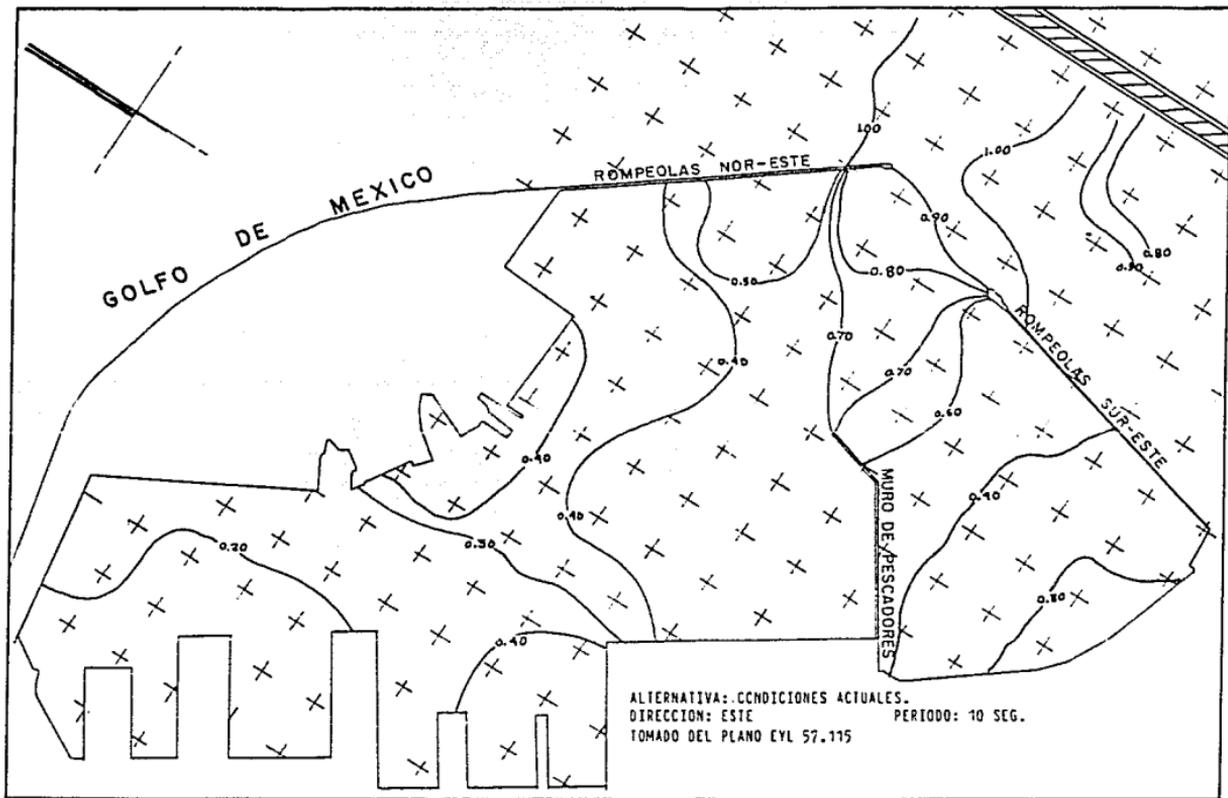
- 1.- Instituto de Geofísica (U.N.A.M.) "Tablas de Predicción de Mareas, Puertos del Golfo y Mar Caribe", México, D.F., 1988
- 2.- CYCOMSA, "Estudio de Erosiones Playeras en las Vecindades del Puerto de Veracruz Ver.". México, D.F. 1972.
- 3.- Shoji Sato y Toshihiko Nagai, "Programa para Generar y Analizar Señales de Oleaje Irregular, Texto Vol. No. 3 para el proyecto del Centro Hidráulico Portuario". México, D.F., Enero 1986
- 4.- Dirección General de Obras Marítimas, S.C.T. "Catástro Portuario" . México, D.F.
- 5.- Toshihiko Nagay, "Manual para el Manejo de la Microcomputadora AMICS - 816, nota del Vol. No. 1 para el proyecto del Centro Hidráulico Portuario". México, D.F., Diciembre 1986.
- 6.- Shoji Sato y Toshihiko Nagai, "Método de Operación del Generador de Oleaje Irregular en el Tanque Plano y los Equipos para Medir y Registrar el Oleaje Regular e Irregular en los Experimentos". México, D.F., Marzo 1987.

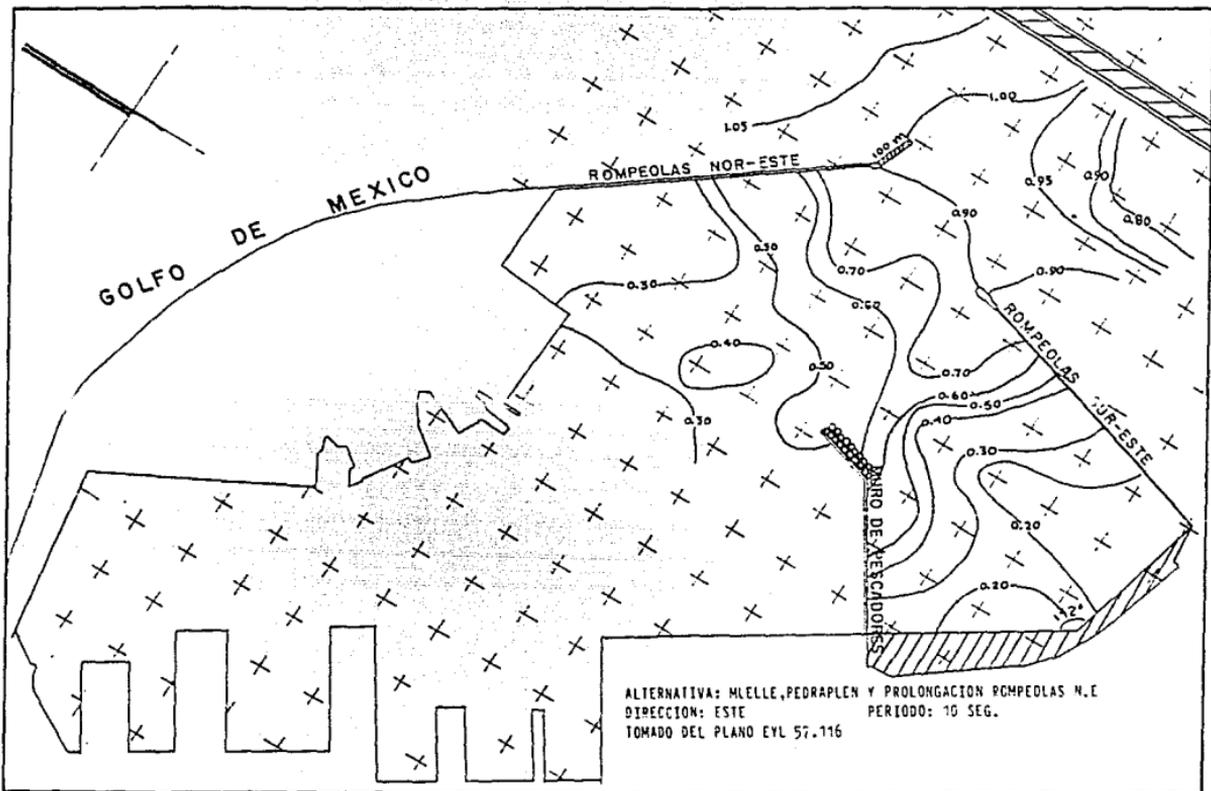


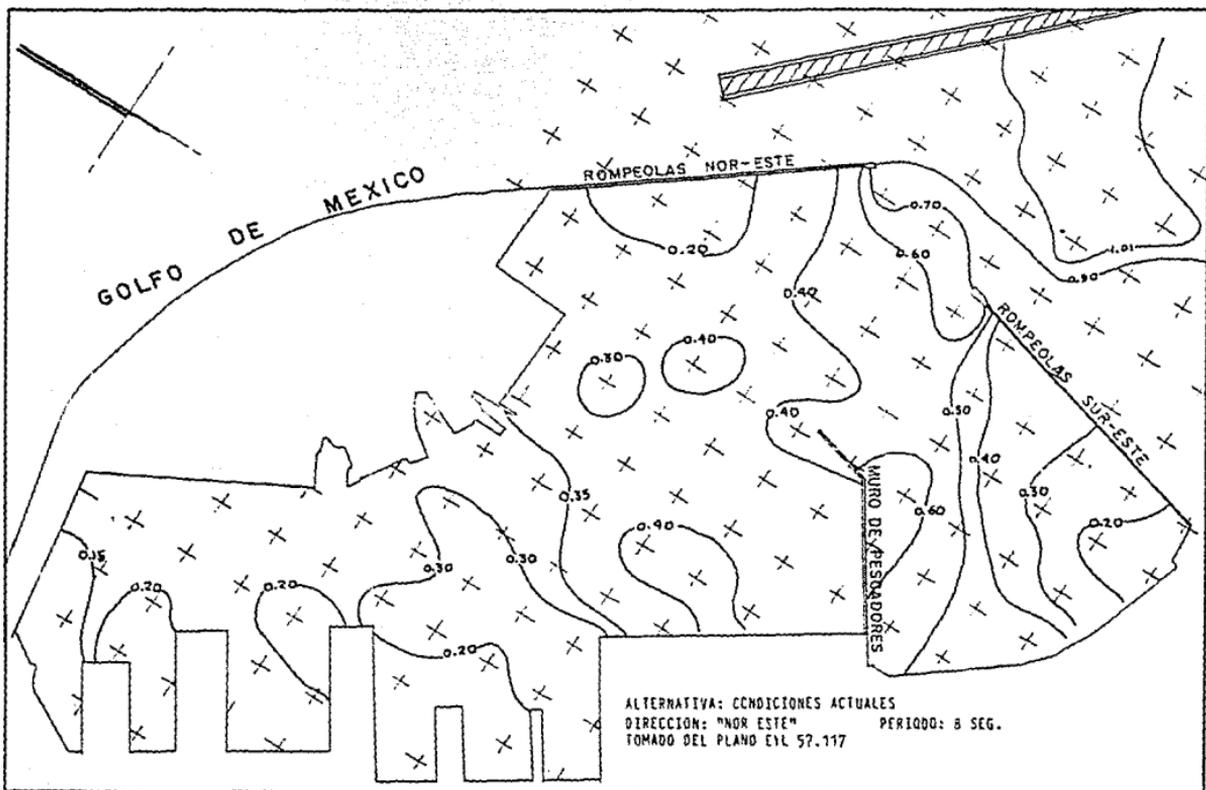












ALTERNATIVA: CONDICIONES ACTUALES  
DIRECCION: "NOR ESTE"  
TOMADO DEL PLANO ETL 57.117

PERIODO: 8 SEG.

