



25
2 e/

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"**

RECIBIDO
1995
MAY 20

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA PROLONGACION
DE LA ESCOLLERA ORIENTE DE PUERTO MADERO
CHIAPAS.**

FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
FERNANDEZ JIMENEZ JOSE JUAN

SAN JUAN DE ARAGON, MEX.

1995



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN


JOSE JUAN FERNANDEZ JIMENEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 9 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que la profesora, Ing. DORA LUZ AVILA ARZANI pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA PROLONGACION DE LA ESCOLERA ORIENTE DE PUERTO MADERO, CHIAPAS ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 12 de enero de 1995
EL DIRECTOR


M en F CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO


c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
c c p M on l Daniel Velázquez Vázquez, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Ing. Dora Luz Avila Arzani, Asesor de Tesis.

CCMG/AIR/11a.

FALLA DE ORIGEN

A MIS PADRES:

Con respeto y agradecimiento por los sacrificios realizados a lo largo de mi formación profesional.

A MIS HERMANOS:

Jaime y Marisol por apoyarme y estar siempre a mi lado -- cuando los necesitaba.

A MI HERMANA VILMA:

**Por estar conmigo siempre,
en los momentos más difi-
ciles de mi vida.**

**Con respeto y admiración,
a uno de los mejores Ing.
Civiles, por su apoyo in-
condicional brindado du-
rante toda mi carrera. A
MI HERMANO. ING. FRANCISCO
FERNANDEZ JIMENEZ.**

A MI ABUELA JUANA.

Por contribuir a mi formación humana y profesional, mediante sus múltiples llamadas de --- atención.

A MI TIO ANIBAL:

Por creer siempre en mi,
y apoyarme en todos los
proyectos de mi vida.

Con el más profundo respeto
y agradecimiento a mi ase-
sor de tesis ING. ROSA LUIS
AVILA ARSAMZ por la ayuda -
brindada en la elaboración
del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
1. ANTECEDENTES.	1
2. PARAMETROS CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO.	1
2.1. Oleaje normal.	1
2.2. Oleaje extremal.	26
2.3. Niveles del mar.	27
2.4. Batimetría frente a las escolleras.	37
2.5. El Modelo.	37
2.6. Modelos Hidráulicos.	38
3. ESTUDIO EXPERIMENTAL.	40
3.1. Modelo Hidráulico bidimensional.	40
3.1.1. Selección de la escala del modelo.	40
3.1.2. Arreglo del modelo.	42
3.1.3. Construcción del modelo.	43
3.1.4. Instrumentación.	44
3.1.5. Programa de ensayos.	44
3.1.6. Condiciones y procedimiento de los ensayos.	45
3.1.7. Presentación de la información experimental.	46
3.1.8. Resultados obtenidos.	47
3.2. Modelo Hidráulico tridimensional.	53
3.2.1. Condiciones naturales a representar.	53
3.2.2. Selección de escalas.	55
3.2.3. Arreglo del modelo.	55
3.2.4. Condiciones y procedimiento de los ensayos.	57
3.2.5. Resultados obtenidos.	57
3.2.6. Evaluación aproximada de la vida útil de la prolongación.	58
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	64
REFERENCIAS.	73

1. ANTECEDENTES.

En Puerto Madero, Chis., se construyeron dos escolleras con la finalidad de proteger contra el oleaje el canal de acceso a dicho puerto (Fig. 1.1)

Con la construcción de las escolleras se alteró el equilibrio dinámico de las playas adyacentes al acceso al puerto, provocando que con la arena puesta en movimiento por la acción del oleaje, se presentaran los fenómenos de asolve en la escollera Oriente y erosión en la poniente.

El fenómeno de asolve ha provocado el crecimiento hacia el mar de la playa adyacente a la escollera Oriente, de tal manera que el extremo de dicha escollera ha sido rebasado y por consiguiente la arena se ha empezado a acumular dentro del canal de navegación y áreas interiores del puerto.

Para encontrar una solución al problema anterior, se planeó la prolongación de la escollera Oriente a través de una estructura sumergida de 200 m de longitud en una primera etapa, constituida por elementos de bolsacreto de 6.5 Ton. de peso. (Fig. 1.a)

Con el objeto de ver la estabilidad de los elementos propuestos así como el tiempo de vida útil de la prolongación, se realizaron una serie de ensayos en modelos hidráulicos bi y tridimensional considerando los parámetros físicos que se mencionan en seguida.

2. PARAMETROS CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO.

2.1 OLEAJE NORMAL.

Si se para una persona en la playa y observa el mar, podrá ver que arriban a ella olas de diversos períodos y alturas, horas después, en la misma playa, el observador notará que la línea de costa ha retrocedido o avanzado, con respecto a la primera posición vista, debiéndose ello al efecto de la variación del nivel del mar inducida por las mareas, mismas que tienen un relativo largo período y no son perceptibles en pequeños lapsos de observación.

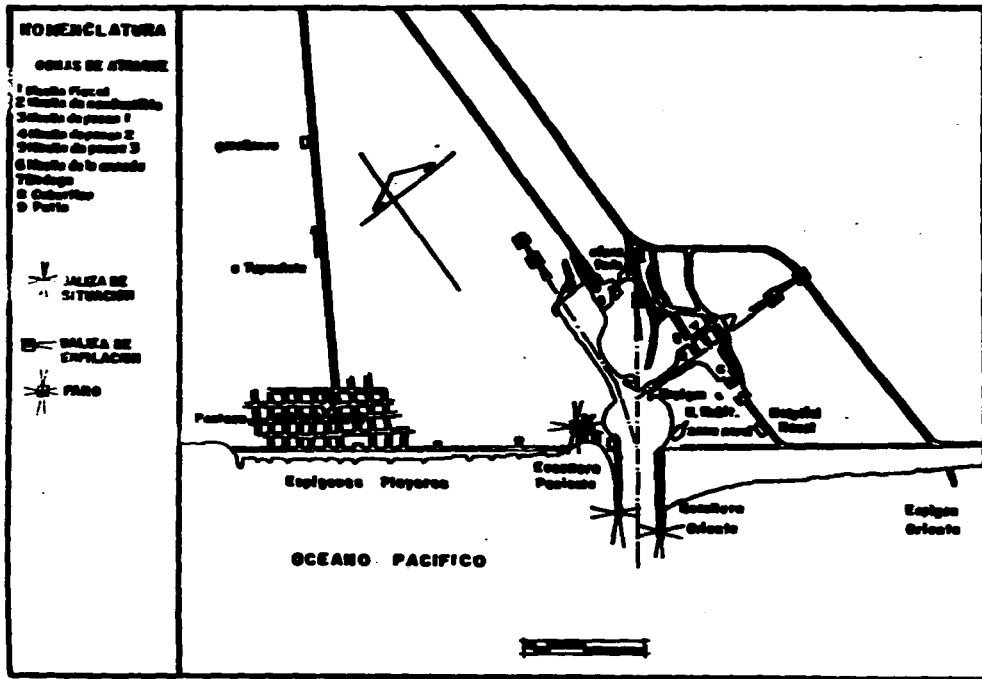
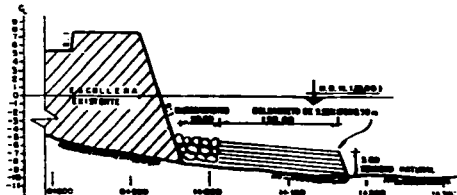
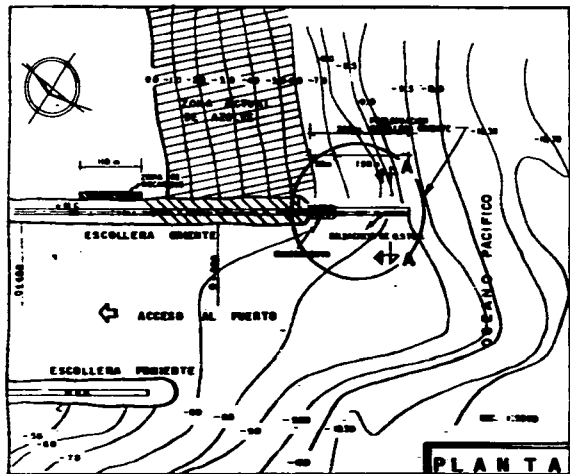
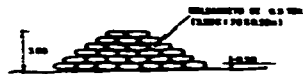


FIGURA 1.1. VISTA GENERAL DE PUERTO MADERO, CHIAPAS.



PERFIL LONGITUDINAL ESCOLLERA ORIENTE

000 (I.R.N.A.)



CORTE A-A

NOTAS

- LA PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL SE TOMARON EN EL AÑO DE 1945-1946 CON TIRADA Y FONDO COMO ESCOLLERA CUANDO SE ENCONTRÓ EL CANAL ENTRE 0+000 Y 0+775.
- EL CORTE A-A CORRESPONDE A LA SECCIÓN QUE SE TOMARON LOS DATOS QUE SE ENCUENTRAN EN ESTE L.S.M.

FOL. No. 1-a

**PLANTA Y PERFIL DE LA
PROLONGACION SUMERIDA
ESBADA.**

FALLA DE ORIGEN

Las olas, por el contrario, no han variado prácticamente en nada y pueden distinguirse con tan sólo unos instantes de observarlas; ello es debido a que son de corto periodo.

Con la finalidad de describir el oleaje se ha idealizado la siguiente onda (fig.2.2)

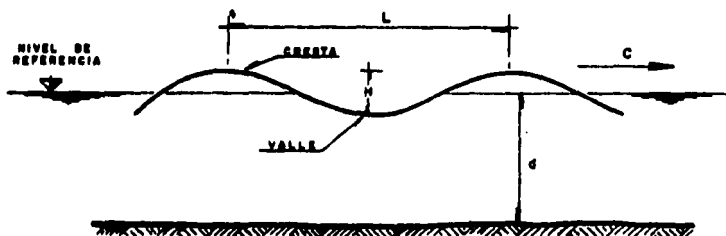


FIGURA 2.2 ONDA DE OLAJE IDEALIZADA.

La altura de ola H se define como la distancia vertical entre la cresta y el valle o seno de una ola determinada; por su parte la longitud L es la distancia horizontal medida entre dos crestas o valles consecutivos. Otra característica importante de la onda de oleaje está dada por su período T , el cual se define como el tiempo que tardan en pasar por un punto fijo dos crestas o dos valles consecutivamente; la celeridad C de la onda, es la velocidad con la cual se desplaza la ola, es decir $C=L/T$.

Para definir las características del perfil de una ola, se utiliza la llamada relación de esbeltez $\eta = H/L$; por su parte, la frecuencia del oleaje queda determinada por el inverso del período: $\omega = 1/T$.

La configuración del oleaje en el mar, varía de una manera irregular, tanto en el espacio como en el tiempo, por lo que se considera un proceso aleatorio. Debido a las limitaciones que se tienen para hacer observaciones de este proceso, para poder utilizar los registros disponibles de los desplazamientos de la superficie del mar, se acepta a priori que estos son típicos del fenómeno y que los cálculos estadísticos realizados en ellos permiten definir una guía de las leyes que gobiernan el oleaje en el mar.

Las ondas en el océano son de una amplia gama de períodos; en la figura 2.3 se presenta un diagrama en donde aparecen los principales tipos de ondas en el océano en relación a su período y los agentes que lo producen. Aparecen en la figura, también, las energías correlativas a cada tipo de onda.

2.1.1 GENERACION DEL OLEAJE.

Considérese una superficie líquida en reposo, sobre la cual en un instante dado empieza a soplar un viento de régimen turbulento con velocidad media u . Debido a que el régimen es turbulento, la velocidad $u(z)$ sobre una vertical variará en módulo y dirección, originando sobre la velocidad media velocidades de fluctuación (u, v, w) , que son aleatorias y cuyo promedio a lo largo del tiempo es cero.

La altura de ola H se define como la distancia vertical entre la cresta y el valle o seno de una ola determinada; por su parte la longitud L es la distancia horizontal medida entre dos crestas o valles consecutivos. Otra característica importante de la onda de oleaje está dada por su período T , el cual se define como el tiempo que tardan en pasar por un punto fijo dos crestas o dos valles consecutivamente; la celeridad C de la onda, es la velocidad con la cual se desplaza la ola, es decir $C=L/T$.

Para definir las características del perfil de una ola, se utiliza la llamada relación de esbeltez $\gamma = H/L$; por su parte, la frecuencia del oleaje queda determinada por el inverso del período: $\omega = 1/T$.

La configuración del oleaje en el mar, varía de una manera irregular, tanto en el espacio como en el tiempo, por lo que se considera un proceso aleatorio. Debido a las limitaciones que se tienen para hacer observaciones de este proceso, para poder utilizar los registros disponibles de los desplazamientos de la superficie del mar, se acepta a priori que estos son típicos del fenómeno y que los cálculos estadísticos realizados en ellos permiten definir una guía de las leyes que gobiernan el oleaje en el mar.

Las ondas en el océano son de una amplia gama de períodos; en la figura 2.3 se presenta un diagrama en donde aparecen los principales tipos de ondas en el océano en relación a su período y los agentes que lo producen. Aparecen en la figura, también, las energías correlativas a cada tipo de onda.

2.1.1 GENERACION DEL OLAJE.

Considérese una superficie líquida en reposo, sobre la cual en un instante dado empieza a soplar un viento de régimen turbulento con velocidad media u . Debido a que el régimen es turbulento, la velocidad $u(z)$ sobre una vertical variará en módulo y dirección, originando sobre la velocidad media velocidades de fluctuación (u, v, w) , que son aleatorias y cuyo promedio a lo largo del tiempo es cero.

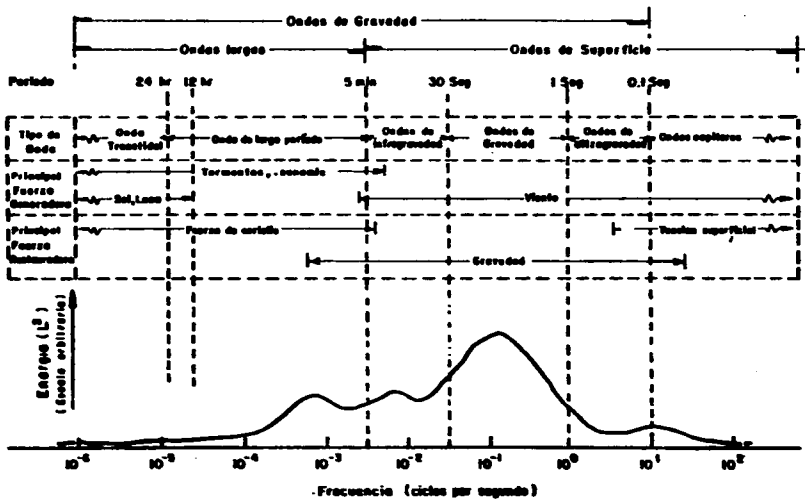


FIGURA 2.3. CLASIFICACION DE LAS ONDAS (Bank - Kinsman).

Las velocidades de fluctuación darán origen sobre la superficie líquida a fluctuaciones de tensión (presión y esfuerzo cortante), que provocarán ondas circulares que se propagan radialmente desde el punto de generación.

Los remolinos de turbulencia serán transportados por el viento medio u , correspondiente a la altura (z) dentro de la capa límite, dependiendo su tamaño de esta altura. Como consecuencia, la distribución de las velocidades de fluctuación y, por lo tanto la de fluctuaciones de presión, comprenderá una amplia gama de frecuencias y de números de onda.

Siendo los remolinos de turbulencia transportados por el viento medio $u(z)$, siempre que esta coincida con la celeridad de la onda al igual que en los periodos, se producirá una resonancia y como consecuencia la energía de la onda crecerá.

A la zona donde está actuando el viento se le denomina fetch, si se considera el fetch dividido en una serie de celdas, en cada una de las cuales actúa el viento, se generarán ondas elementales cuya altura, frecuencia, fase y dirección serán aleatorias e independientes y cuya interferencia dará lugar a una disposición caótica de la superficie líquida, conocida como "mar de viento" u "oleaje local" o bien empleando la palabra inglesa universalmente aceptada "Sea". (fig.2.4).

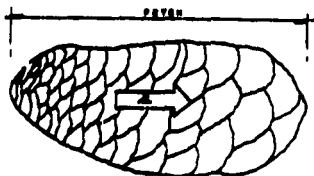


FIGURA 2.4. ZONA DE GENERACIÓN OLEAJE LOCAL.

2.1.2 FUENTES DE INFORMACION DEL OLEAJE ESTADISTICO.

La manera más confiable que existe para conocer las características de oleaje para un sitio determinado, sería el de realizar mediciones directas durante un lapso que se recomienda no sea menor de un año, para lo cual en la actualidad existen diferentes aparatos que permiten llevarlo a cabo. Sin embargo, la medición directa a veces no es posible realizarla, bien sea por motivo de orden económico o por la necesidad de contar con datos rápidamente, por lo que es común hacer uso de fuentes de información que definen las variables en cuanto a periodo y altura.

A continuación se presentan dos de ellas:

a) Datos Estadísticos del Oleaje (Ocean Wave Statistics).

Esta fuente de información fue editada en 1967 por el Laboratorio Nacional de Física, Ministerio de Tecnología de la Gran Bretaña y contiene los datos estadísticos del oleaje, estimados visualmente por observadores desde barcos que navegaron en las rutas establecidas en todo el mundo durante los años de 1953 a 1961.

Los datos reportados por los observadores son: dirección, periodo y alturas de ola, no haciéndose ningún tipo de distinción entre el oleaje local (sea) y el distante (swell). Las zonas en las que esta fuente ha agrupado los datos de las observaciones visuales del estado del mar se muestran en la figura 2.8.

b) Cartas del Oleaje Local y Distante (Sea and Swell Charts).

En este caso la información se refiere a las publicaciones denominadas "Atlas of Sea and Swell Charts" tanto del Océano Pacífico Noroeste, como del Océano Atlántico Norte, ambas editadas por la U.S.Navy Oceanographic Office, Washington, D.C.

Los datos presentados por esta fuente, obedecen a observaciones visuales del estado del mar, realizadas desde embarcaciones durante un periodo de diez años. Para su presentación el oleaje se agrupa en dos tipos, dando la definición para cada uno de ellos:

1) Oleaje Local(Sea).

Olas generadas por vientos locales, mismas que son generalmente de periodos cortos, superficie irregular rápidamente cambiante que se desplaza en la misma dirección que el viento generado.

2) Oleaje distante (Swell).

Olas que han avanzado más allá de la influencia de los vientos generados. Son más largas en periodo, de crestas redondeadas más uniforme, de mayor altura y su dirección es independiente de la dirección del viento.

Utilizando los datos estadísticos del oleaje (Ocean Wave Statistics) para la realización de este trabajo, y en concreto a la zona 22 correspondiente a Puerto Madero, Chiapas; se presenta la información observada a base de tablas.

El contenido de estas tablas se describe a continuación:

En la tabla 2.1 se presentan las claves usadas para definir el valor del periodo de ola observada.

En la tabla 2.2 se presentan los códigos usados para definir el valor de la altura de ola observada.

En la tabla 2.3 se reportan las características del oleaje (altura y periodo) independientemente de su dirección.

En la tabla 2.4 se reportan las características del oleaje con dirección S 60° E.

La sucesión de tablas desde la 2.5 hasta la 2.9 están estructuradas en forma similar a la tabla 2.4 y corresponden a oleajes en otras direcciones.

Tomando como base las tablas anteriores (2.1 hasta la 2.9), en las tablas 2.10 hasta la 2.21 se presenta el cálculo de $H_{1/2}$ (altura significativa) y $T_{1/2}$ (periodo significativo), para la zona 22, anual y en cuatro direcciones significativas (SE,S,W,NW) para la realización de este trabajo, sin considerar las calmas.

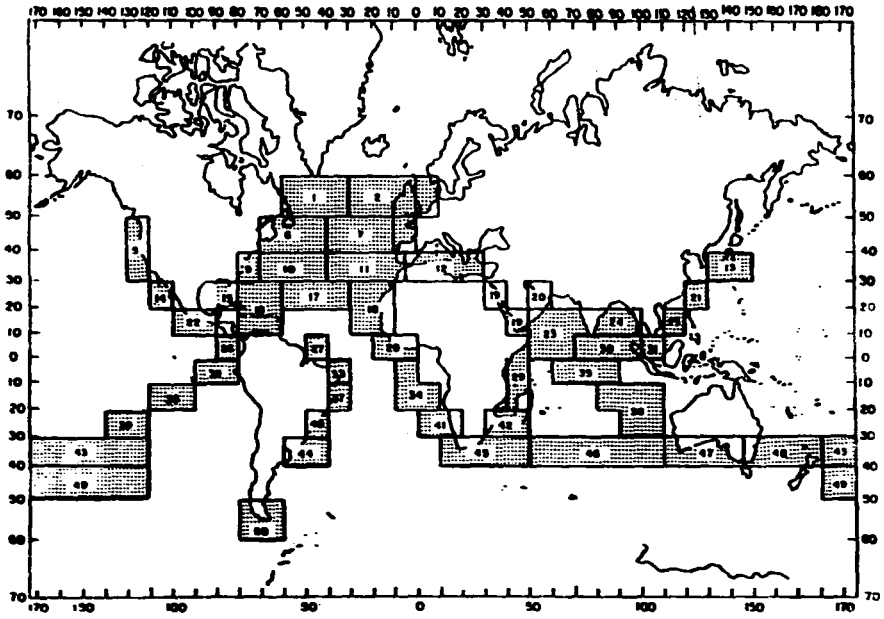


FIGURE 2.5. SIGNIFICATION OCEAN WAVE STATISTICS.

CLAVES DEL PERIODO DEL OLEAJE	PERIODOS DEL OLEAJE SEGUNDOS.
X	CALMAS O PERIODO INDETERMINADO
2	MENOR QUE 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	MAYOR QUE 21

TABLA 2.1. Claves usadas para definir el valor del periodo de ole observado.

CODIGO DE LA ALTURA DEL OLEAJE	ALTURA DEL OLEAJE EN METROS.
00	0.25
01	0.50
02	1.00
03	1.50
04	2.00
05	2.50
06	3.00
07	3.50
08	4.00
09	4.50
10	5.00
11	5.50
12	6.00
13	6.50
14	7.00
15	7.50
16	8.00
17	8.50
18	9.00
19	9.50

TABLA 2.2. 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	729	671	12		2		2	1		8	13	1630
01	40	1813	104	36	11	2	1	2			50	1239
02	54	1068	479	129	32	14	6	2		4	11	1799
03	17	352	479	160	69	17	8	1				1105
04	8	55	164	89	44	21	2					383
05	1	13	46	62	22	4	1	2	1			152
06	2	2	29	35	19	13	1					101
07			4	8	8	2						44
08	1		3	9	6	4	2	1				22
09		1	1	1	2							26
10	1	1	1									5
11	1	1	1	2	1							3
12			1	2		1						6
13			1									4
14				2	1							1
15				1								3
16												1
TOTAL	854	3178	1341	549	223	82	26	10	1	14	74	6352

TABLA 2.3. Información observada de las características del oleaje (altura y período) independientemente de su dirección.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
00	16	1		2							19
01	34	12	3	6		1	1			4	61
02	56	46	24	3	4						133
03	24	34	18	6	2	1	1				86
04	1	11	6	6	1						29
05	1	2	2		2						7
06		2	2								4
07		1	1								2
08			1								1
	132	109	87	23	9	2	2			4	338

TABLA 2.4. 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	
00	12	1				2			1		16
01	24	7	2	1						2	36
02	40	50	21	10	3						124
03	13	40	17	22	4	4					100
04	1	17	11	8	7						44
05	1	1	4	2		1					9
06			3	1							4
08		1		1							2
09			1								1
	91	117	89	48	14	7			1	2	336

TABLA 2.5. 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	
00	24	1								3	25
01	36	7	5				1			1	52
02	30	28	14	3	1	1					86
03	12	67	37	8	3	1					128
04	1	10	18	7	3	1					37
05	1	4	14	4							23
06		3	3	1							7
07		4	2	2							8
08		1	1	1							3
09			4								4
	112	128	95	26	7	3	1			4	373

TABLA 2.6. Información observada de las características del oleaje (altura y período) con dirección SUR.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
00	138	4									139
01	217	13	2	1						14	247
02	246	70	14	5		1				1	337
03	84	60	17	4	1				1		167
04	4	15	4		3						26
05	1	2	6	1							10
06		3	2	1	1						7
07				1							1
09						2					2
12	1	1		1							3
	688	168	48	14	5	3			1	15	939

TABLA 2.7. Información observada de las características del oleaje (altura y período) con dirección W.

	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
00	103	1								1	105
01	138	18	3	1	1					6	167
02	115	40	8	1	1		1		1	2	169
03	32	37	7	4	3	1					84
04	7	29	9	3	3	1					82
05	3	5	3	1			2				14
06	1	1	2	2	2	1					9
07		2		1			1				4
08			1		1						2
	399	133	33	13	11	3	4		1	9	606

TABLA 2.8. 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	
00	78	1					1		1	1	82
01	75	9								4	88
02	87	28	3		1					1	130
03	34	40	10	1	1						86
04	7	13	4	1	1						26
05		11	9	1	1						22
06		8	7								15
07		4	1								5
08			1								1
09			2	1							3
10		1		1							2
13			1								1
16			1								1
	281	115	39	8	4		1		1	6	482

TABLA 2.9 Información observada de las características del oleaje (altura y periodo) con dirección N 30° W.

CODIGO	ALTURA (m)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA.
00	0.25	19	5.62		
01	0.50	61	18.05		
02	1.00	133	39.35		
03	1.50	86	25.44	21.79	32.69
04	2.00	25	7.40	7.40	14.80
05	2.50	7	2.07	2.07	5.18
06	3.00	4	1.18	1.18	3.54
07	3.50	2	0.59	0.59	2.07
08	4.00	1	0.30	0.30	1.20
Σ		338	100.00	33.33	59.48

$H_{1/3} = 59.48/33.33 = 1.78 \text{ m.}$

TABLA 2.10. $H_{1/3}$, Zona 22, anual, dirección S 60° E.

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA
2	8	132	39.05		
3	7	109	32.25	4.63	32.41
4	9	57	16.87	16.87	151.83
5	11	23	6.81	6.81	74.91
6	13	9	2.66	2.66	34.58
7	15	2	0.59	0.59	8.85
8	17	2	0.59	0.59	10.03
9	19				
0	21				
1	21	4	1.18	1.18	24.78
Σ		338	100.00	33.33	337.39

$T_{1/3} = 337.39/33.33 = 10 \text{ seg.}$

TABLA 2.11. $T_{1/3}$, Zona 22, anual, dirección S 60° E.

CODIGO	ALTURA (m)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (°)	FRECUENCIA 1/3 (°)	FRECUENCIA PONDERADA.
00	0.25	16	4.76		
01	0.50	36	10.71		
02	1.00	124	36.90		
03	1.50	100	29.76	15.46	23.19
04	2.00	44	13.10	13.10	26.20
05	2.50	9	2.68	2.68	6.70
06	3.00	4	1.19	1.19	3.57
07	3.50				
08	4.00	2	0.60	0.60	2.40
09	4.50	1	0.30	0.30	1.35
Σ		336	100.00	33.33	63.41

$N_{10} = 63.41/33.33 = 1.90 \text{ m.}$

TABLA 2.12. N_{10} . Zona 22, anual, dirección S 30° E.

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (°)	FRECUENCIA 1/3 (°)	FRECUENCIA PONDERADA.
2	5	911	27.07		
3	7	117	34.82		
4	9	89	17.86	12.79	118.11
5	11	45	13.39	13.39	147.29
6	13	14	4.17	4.17	54.21
7	15	7	2.08	2.08	31.30
8	17				
9	19				
0	21	1	0.30	0.30	6.30
1	21	2	0.60	0.60	12.60
Σ		336	100.00	33.33	366.71

$T_{10} = 366.71/33.33 = 11 \text{ seg.}$

TABLA 2.13. T_{10} . Zona 22, anual, dirección S 30° E.

CODIGO	ALTURA (m)	OBSERVACIONES.	FRECUENCIA (%).	FRECUENCIA 1/3 (%).	FRECUENCIA PONDERADA.
00	0.25	28	6.70		
01	0.50	82	19.84		
02	1.00	86	23.06		
03	1.50	128	34.32	11.35	17.07
04	2.00	37	9.92	9.92	19.84
05	2.50	23	6.17	6.17	15.43
06	3.00	7	1.88	1.88	5.64
07	3.50	8	2.14	2.14	7.49
08	4.00	3	0.80	0.80	3.20
09	4.50	4	1.07	1.07	4.82
Σ		373	100.00	33.33	73.45

$N_{10} = 73.45/33.33 = 2.20 \text{ m.}$

TABLA 2.14. N_{10} . Zona 22, anual, dirección SUR.

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%).	FRECUENCIA 1/3 (%).	FRECUENCIA PONDERADA.
2	5	112	30.02		
3	7	125	33.51		
4	9	95	25.47	22.34	201.06
5	11	26	6.97	6.97	76.67
6	13	7	1.88	1.88	24.44
7	15	3	0.80	0.80	12.00
8	17	1	0.27	0.27	4.59
9	19				
0	21				
1	23	4	1.07	1.07	22.47
Σ		373	100.00	33.33	341.23

$T_{10} = 341.23/33.33 = 10 \text{ seg.}$

TABLA 2.15. T_{10} . Zona 22, anual, dirección SUR.

CODIGO	ALTURA (m).	OBSERVACIONES.	FRECUENCIA (°).	FRECUENCIA 1/3 (°).	FRECUENCIA PONDERADA.
00	0.25	139	14.80		
01	0.50	247	26.30		
02	1.00	337	35.89	10.32	10.32
03	1.50	167	17.78	17.78	26.67
04	2.00	26	2.77	2.77	5.54
05	2.50	10	1.07	1.07	2.68
06	3.00	7	0.75	0.75	2.25
07	3.50	1	0.11	0.11	0.39
08	4.00				
09	4.50	2	0.21	0.21	0.95
10	5.00				
11	5.50				
12	6.00	3	0.32	0.32	1.92
Σ		939	100.00	33.33	50.72
			$H_{1/3} = 50.72/33.33 = 1.52 \text{ m.}$		

TABLA 2.16. $H_{1/3}$. Zona 22, anual, dirección W .

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA.
2	5	688	73.27	6.60	33.00
3	7	168	17.89	17.89	125.23
4	9	45	4.79	4.79	43.11
5	11	14	1.49	1.49	16.39
6	13	5	0.53	0.53	6.89
7	15	3	0.32	0.32	4.80
8	17				
9	19				
0	21	1	0.11	0.11	2.31
1	21	15	1.60	1.60	33.60
Σ		939	100.00	33.33	265.33
$T_{10} = 265.33/33.33 = 8 \text{ seg.}$					

TABLA 2.17. T_{10} . Zona 22, anual, dirección W.

CODIGO	ALTURA (m)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA
00	0.25	105	17.33		
01	0.50	167	27.56		
02	1.00	169	27.89	6.11	6.11
03	1.50	84	13.86	13.86	20.79
04	2.00	52	8.58	8.58	17.16
05	2.50	14	2.31	2.31	5.78
06	3.00	9	1.48	1.48	4.44
07	3.50	4	0.66	0.66	2.31
08	4.00	2	0.33	0.33	1.32
Σ		606	100.00	33.33	57.91
$H_{10} = 57.91/33.33 = 1.74 \text{ m.}$					

TABLA 3.18. H_{10} . Zona 22, anual, dirección W 60° W.

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA.
2	5	399	65.84		
3	7	133	21.95	21.12	147.84
4	9	33	5.45	5.45	49.05
5	11	13	2.15	2.15	23.65
6	13	11	1.82	1.82	23.66
7	15	3	0.49	0.49	7.35
8	17	4	0.66	0.66	11.22
9	19				
0	21	1	0.16	0.16	3.36
1	21	9	1.48	1.48	31.08
Σ		606	100.00	33.33	297.21
			$T_{10} = 297.21/33.33 = 9 \text{ seg.}$		

TABLA 2.19. T_{10} . Zona 22, anual, dirección N 60° W.

CODIGO	ALTURA (m)	OBSERVACIONES	FRECUENCIA (%)	FRECUENCIA 1/3 (%)	FRECUENCIA PONDERADA.
00	0.25	82	18.14		
01	0.50	88	19.47		
02	1.00	120	26.88		
03	1.50	86	19.03	16.52	24.78
04	2.00	26	5.78	5.75	11.50
05	2.50	22	4.87	4.87	12.18
06	3.00	18	3.32	3.32	9.96
07	3.50	8	1.11	1.11	3.89
08	4.00	1	0.22	0.22	0.88
09	4.50	3	0.66	0.66	2.97
10	5.00	2	0.44	0.44	2.20
11	5.50				
12	6.00				
13	6.50	1	0.22	0.22	1.43
14	7.00				
15	7.50				
16	8.00	1	0.22	0.22	1.76
Σ		482	100.00	33.33	71.55
			$M_{1/3} = 71.55/33.33 = 2.15 \text{ m.}$		

TABLA 2.20. $M_{1/3}$. Zona 22, anual, dirección N 30° W.

CODIGO	PERIODO (seg)	OBSERVA- CIONES	FRECUM- CIA (0)	FRECUM- CIA 1/3 (0)	FRECUM- CIA PON- DERADA.
2	5	281	62.17		
3	7	115	25.44	20.94	146.88
4	9	39	8.63	8.63	77.67
5	11	5	1.11	1.11	12.21
6	13	4	0.88	0.88	11.44
7	15				
8	17	1	0.22	0.22	3.74
9	19				
0	21	1	0.22	0.22	4.62
1	21	6	1.33	1.33	27.93
Σ		452	100.00	33.33	284.19
			$T_{10} = 284.19/33.33 = 9 \text{ seg.}$		

TABLA 2.21. T_{10} . Zona 22, anual, dirección N 30° W.

Partiendo de los resultados obtenidos de las tablas 2.10 hasta la 2.21 se tienen las siguientes alturas de ola significativa ($H_{1/3}$), así como los periodos significantes ($T_{1/3}$).

(1) Altura Significante. ($H_{1/3}$).

$$H_{1/3} = 1.78 \text{ m} \qquad H_{1/3} = 1.90 \text{ m} \qquad H_{1/3} = 2.20 \text{ m}$$

$$H_{1/3} = 1.82 \text{ m} \qquad H_{1/3} = 1.74 \text{ m} \qquad H_{1/3} = 2.15 \text{ m}$$

$$H_{1/3} = \frac{1.78+1.90+2.20+1.82+1.74+2.15}{6}$$

$$H_{1/3} = 1.88 \text{ m}$$

(2) Periodo Significante. ($T_{1/3}$).

$$T_{1/3} = 10 \text{ seg.} \qquad T_{1/3} = 11 \text{ seg.} \qquad T_{1/3} = 10 \text{ seg.}$$

$$T_{1/3} = 8 \text{ seg.} \qquad T_{1/3} = 9 \text{ seg.} \qquad T_{1/3} = 9 \text{ seg.}$$

$$T_{1/3} = \frac{10+11+10+8+9+9}{6}$$

$$T_{1/3} = 9.5 \text{ seg.}$$

Por lo que el periodo significativo del oleaje es de 9.5 segundos y la altura significativa obtenida es de 1.88 metros, los cuales comparándoles con los datos de alturas y periodos de oleaje enviados por la Residencia de Obras del Puerto, se decidió que el periodo significativo del oleaje fuera de 10 segundos, ya que el rango de variación de alturas de ola a ser utilizado en el modelo sería de (1.00 a 2.80 m).

3.3 OLAJE EXTREMAL.

Con la finalidad de obtener el valor de las alturas de ola (H_s) y periodos máximos (T_p) en la zona de generación para las 10 posiciones ciclónicas siguientes, se aplicaron 3 diferentes métodos de predicción de oleaje cuyas ecuaciones de ajuste en función de las características del ciclón corresponden a las siguientes:

(1) Modelo de SVENDRUP-KURK-BRETHERIDGE (S M B).

$$H_s = 0.283 g^{-1} U^3 \tanh 0.0125(gx / U^3)^{0.25} \quad (2.1)$$

$$T_p = 7.54 g^{-1} U \tanh 0.077(gx / U^3)^{0.25} \quad (2.2)$$

(2) Modelo de JONSWAP.

$$H_s = 0.0016 g^{0.5} U X^{0.5} \quad (2.3)$$

$$T_p = 0.286 g^{-0.47} U^{0.33} X^{0.33} \quad (2.4)$$

(3) Modelo de DONELAN.

$$H_s = 0.00366 g^{0.25} U^{1.25} F^{0.25} (\cos\theta)^{1.25} \quad (2.5)$$

$$T_p = 0.54 g^{-0.77} U^{0.25} F^{0.25} (\cos\theta)^{0.25} \quad (2.6)$$

Donde:

H_s : Es la altura de ola significativa en la zona de generación, en metros.

g : Es la aceleración de la gravedad, en metros/seg².

U : Es la velocidad del viento, medida a 33 pies (10 m) sobre el nivel del mar, en metros/seg.

X : Es la longitud del Fetch en la dirección del viento, en Kms.

T_p : Es el periodo máximo (periodo pico) del espectro de energía del oleaje, en seg.

F : Es el Fetch en la dirección del oleaje , en Kms.

θ : Es el ángulo entre las direcciones del viento y del oleaje, en grados; en el presente trabajo se consideró $\theta=0^\circ$ por falta de información al respecto.

Como resultado de la aplicación de los tres modelos anteriormente descritos a las 10 posiciones ciclónicas seleccionadas para la zona de estudio, se obtuvieron las alturas y periodos del oleaje que se indican en la tabla 2.22.

2.3 NIVELES DEL MAR.

La mayoría de la gente viviendo a lo largo del borde de mares y océanos está enterada de que existen las mareas, pero rara vez las comprenden.

El primer acercamiento al fenómeno fue hecho por Newton en 1687 en su "Philosophie Naturalis Principia Mathematica" en la cual mostró la atracción gravitacional entre el sol, luna y tierra. Es decir, Newton obtuvo la teoría que se conoce como "Estática", la cual aunque imperfecta proporcionó la noción esencial de la fuerza de atracción que los astros tienen sobre las moléculas líquidas.

Más tarde en 1799, Laplace presentó más detalles y el panorama fue haciéndose poco a poco más claro (teoría dinámica).

Este investigador estableció que el movimiento del nivel del mar en un punto determinado es la consecuencia de : a)Oscilaciones libres, en donde las características (período y amplitud), son función de las dimensiones del vaso o recipiente que constituyen los océanos; b)Oscilaciones forzadas, producto de la acción (atracción) perturbadora de los astros (luna y sol).

Con estas bases, muchos progresos se han hecho en este siglo y así en nuestros días el análisis y predicción de las mareas son procedimientos más o menos comunes; en la primera parte de éste, los cálculos se basaron en el uso de métodos semi-analíticos, los cuales fueron ejecutados a mano; para situaciones complicadas se hizo indispensable el soporte de un modelo hidráulico o analógico.

F : Es el Fetch en la dirección del oleaje , en Kms.

θ : Es el ángulo entre las direcciones del viento y del oleaje, en grados; en el presente trabajo se consideró $\theta=0^\circ$ por falta de información al respecto.

Como resultado de la aplicación de los tres modelos anteriormente descritos a las 10 posiciones ciclónicas seleccionadas para la zona de estudio, se obtuvieron las alturas y periodos del oleaje que se indican en la tabla 2.22.

2.3 NIVELES DEL MAR.

La mayoría de la gente viviendo a lo largo del borde de mares y océanos está enterada de que existen las mareas, pero rara vez las comprenden.

El primer acercamiento al fenómeno fue hecho por Newton en 1687 en su "Philosophie Naturalis Principia Mathematica" en la cual mostró la atracción gravitacional entre el sol, luna y tierra. Es decir, Newton obtuvo la teoría que se conoce como "Estática", la cual aunque imperfecta proporcionó la noción esencial de la fuerza de atracción que los astros tienen sobre las moléculas líquidas.

Más tarde en 1799, Laplace presentó más detalles y el panorama fue haciéndose poco a poco más claro (teoría dinámica).

Este investigador estableció que el movimiento del nivel del mar en un punto determinado es la consecuencia de : a)Oscilaciones libres, en donde las características (periodo y amplitud), son función de las dimensiones del vaso o recipiente que constituyen los océanos; b)Oscilaciones forzadas, producto de la acción (atracción) perturbadora de los astros (luna y sol).

Con estas bases, muchos progresos se han hecho en este siglo y así en nuestros días el análisis y predicción de las mareas son procedimientos más o menos comunes; en la primera parte de éste, los cálculos se basaron en el uso de métodos semi-analíticos, los cuales fueron ejecutados a mano; para situaciones complicadas se hizo indispensable el soporte de un modelo hidráulico o analógico.

NOMBRE DEL CICLON	FECHA	VEL. DEL VIENTO. (m/s)	LONG. DEL FETCH. (Km)	S.N.B.		JOBSMAP.		DOWELAN.	
				H(m)	T(m)	H(m)	T(s)	H(m)	T(m)
FABIO	20/JUL/82	36.11	190.47	7.92	12.25	8.05	11.18	7.70	10.57
LORENA	08/SEP/83	51.39	388.89	15.05	17.46	16.37	15.89	15.64	15.08
ALETTA	25/MAY/82	23.06	206.35	5.78	9.58	5.35	9.90	4.55	8.46
OTIS	26/OCT/81	38.89	460.31	12.63	15.39	13.48	15.33	11.80	13.48
MANUEL	14/SEP/83	41.67	222.22	9.20	13.73	10.03	12.33	9.75	11.84
TICO	14/OCT/83	41.67	95.24	7.40	11.36	6.57	9.32	7.07	9.74
OLIVIA	20/SEP/82	41.67	203.17	9.40	13.46	9.59	11.97	9.42	11.60
SERGIO	17/OCT/82	56.94	134.92	12.00	14.57	10.68	11.59	11.80	12.46
OSBEVIEVE	08/JUL/84	33.33	222.22	7.28	12.09	8.03	11.45	7.39	10.49
BLANCA	08/JUN/85	33.33	201.39	7.01	11.84	7.64	11.09	7.12	10.26

TABLA 2.22. Alturas y periodos del oleaje significante en la zona de generaci3n.

Con el desarrollo de las computadoras digitales, esto ha cambiado completamente y en el presente prácticamente todos los análisis de mareas se hacen con ayuda de ellas. Por otra parte modelos físicos para estudiar exclusivamente la dinámica de las mareas son rara vez realizados en la actualidad. Los métodos analíticos son solamente usados en los casos de una primera aproximación o para propósitos de control.

2.2.1 TIPOS DE MAREAS.

1) MAREA DIURNA

Un pleamar y un bajamar por ciclo, en un periodo de 24 hrs y 50 mins. (fig.2.6).

2) MAREA SEMIDIURNA.

Dos pleamares u dos bajamares durante dos ciclos sucesivos con periodos de 12 hrs y 25 mins cada uno (valor promedio) las amplitudes de ambos son sensiblemente semejantes. (fig.2.6)

3) MAREA MIXTA.

Dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con periodo de 12 hrs y 25 mins cada uno (valor promedio); las amplitudes de ambas presentan diferencias notorias (desigualdad diaria). (fig.2.6). La desigualdad diaria, para mareas semidiurnas y mixtas es la diferencia en altura entre los niveles de dos pleamares o bajamares sucesivos.

4) MAREA VIVA.

Es la máxima amplitud que alcanza la onda en un mes (en realidad el aumento empieza desde la marea muerta), ocurriendo algún tiempo (la edad de la marea) después de aparecida la luna llena o nueva. Se le denomina marea de "sicigias". (fig.2.7).

5) MAREA EQUINOCCIAL.

Es la máxima amplitud alcanzada por la onda durante todo el año, como producto de la atracción de los astros.

6) MAREA MUERTA.

Es la máxima amplitud que alcanza la onda en el mes (decrece apartir de la marea viva), ocurriendo algún tiempo después de que han aparecido los cuartos crecientes y menguantes. (fig.2.7).

7) MAREA DE TORMENTA.

Se define a la marea de tormenta como el aumento (o disminución) del nivel del agua arriba (o abajo) del nivel esperado, debido a la acción del esfuerzo del viento sobre la superficie del agua. (fig.2.8).

8) MAREA HIDRAULICA.

Se denomina marea hidráulica al efecto que se produce en la onda de marea al propagarse en un estrecho o un golfo que se encuentra angosto en su extremo. Un caso típico de ella es el fenómeno que ocurre en el Golfo de California, en donde la amplitud de la marea en la parte Norte es bastante mayor que la correspondiente en la comunicación con el Océano Pacífico.

Para este estudio fue necesario tomar en cuenta además del oleaje extremal, las características de la marea astronómica y la de tormenta.

2.3.2 MAREA ASTRONOMICA.

La marea astronómica para Puerto Madero, es del tipo Mixta Semidiurna y los valores de variación se determinaron con los datos proporcionados por el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M., del

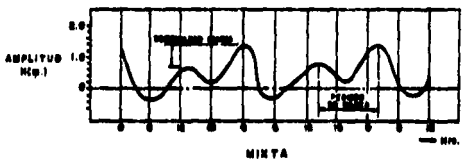
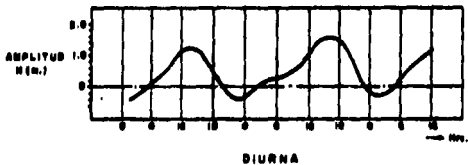
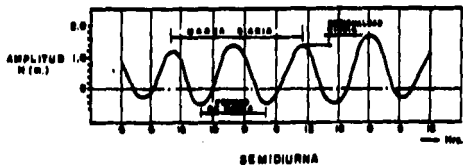


FIGURA 2.6. TIPOS DE MAREAS (Shore Protection).

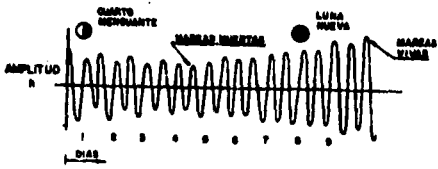
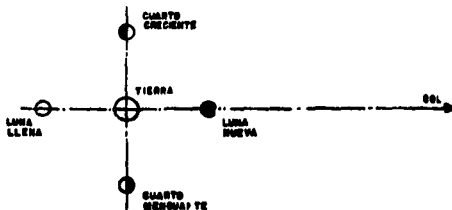


FIGURA 2.7. MAREAS VIVAS Y MAREAS MUERTAS (Thijssse).

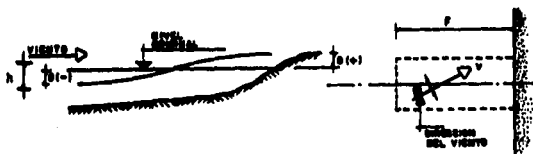


FIGURA 2.8 MAREA DE TORMENTA (Bretschneider).

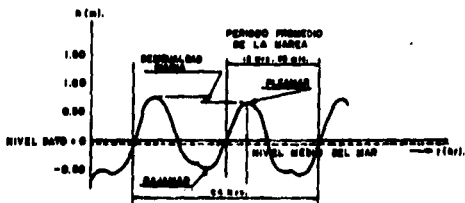


FIGURA 2.9. ONDA DE MAREA (Thijss).

FALLA DE ORIGEN

cual se obtuvieron los planos de marea que se muestran en la tabla 2.23.

TABLA 2.23.

NIVELES DE MAREA EN PUERTO MADRID, CHIS.

Pleamar máxima registrada.	1.311 m.
Nivel de pleamar media superior.	0.775 m.
Nivel de pleamar media.	0.662 m.
Nivel medio del mar.	0.000 m.
Nivel de media marea.	-0.002 m.
Nivel de bajamar media.	-0.655 m.
Nivel de bajamar media inferior.	-0.693 m.
Bajamar mínima registrada.	-1.096 m.

De donde se puede observar que la altura de pleamar media referida al nivel medio del mar es de 0.662.

2.3.3 MAREA DE TORMENTA.

Para determinar el incremento del nivel del mar en la zona por efecto de los ciclones, se tomaron en cuenta la reducción de la presión atmosférica, el ascenso provocado por el oleaje en la proximidad de la playa y la marea astronómica.

Para calcular la sobreelevación del nivel del mar por efecto de la reducción de la presión atmosférica, se utilizó la expresión sig.

$$S_{AP} = 0.13(P_0 - P_n)(1 - e^{-R/H})$$

siendo:

$S_{\Delta P}$: Elevación del nivel del mar por cambio en la presión atmosférica, en m.

P_n : Presión en la periferia del ciclón, en cm de mercurio.

P_c : Presión en el centro del ciclón, en cm de mercurio.

R : Distancia del centro de la tormenta a la región de vientos máximos, en Km.

r : Distancia del centro de la tormenta a la isobara cercana, en Km.

Para calcular la sobreelevación del nivel del mar por efecto del transporte de la masa de agua sobre la costa causada por el oleaje, se utilizó la expresión siguiente:

$$S_w = 0.19 \left[1 - \left(\frac{H_b}{gT^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] H_b$$

siendo:

S_w : Elevación de la masa de agua sobre la costa, en m.

H_b : Altura de la ola rompiente, en m.

g : Aceleración de la gravedad, en m/seg².

T : Período del oleaje, en seg.

De acuerdo con la configuración isobárica de las 10 posiciones ciclónicas descritas anteriormente y a los datos de la marea astronómica de la tabla 2.23 se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 2.24.

TABLA 2.24.

NIVELES DE LA MAREA DE TORMENTA

CICLON	T (seg)	Hb (m)	S_{Astr} (m)	S_{AP} (m)	S_v (m)	S_{AT} m.s.N.S.M.I
FABIO	12.25	4.90	0.77	0.49	0.86	2.12
LORENA	17.46	4.90	0.77	0.49	0.88	2.14
ALETTA	9.58	4.90	0.77	0.87	0.92	2.26
OTIS	15.39	4.90	0.77	0.45	0.87	2.09
MANUEL	13.73	4.90	0.77	0.80	0.86	2.13
TICO	11.36	4.90	0.77	0.82	0.88	2.14
SERGIO	14.57	4.90	0.77	0.33	0.86	1.96
OLIVIA	13.46	4.67	0.77	0.34	0.84	1.95
GENEVIEVE	12.09	4.90	0.77	0.39	0.85	2.01
BLANCA	11.84	4.90	0.77	0.39	0.85	2.11

siendo:

S_{Astr} : Sobreelevación marea astronómica.

S_{AP} : Sobreelevación por reducción de la presión atmosférica.

S_v : Sobreelevación por oleaje.

S_{AT} : Sobreelevación total del mar referida al Nivel de Bajamar Media Inferior.

De acuerdo con la tabla anterior se tome un promedio de las sobre elevaciones y se obtuvo un valor de 2.00 m. Por otro lado, de acuerdo con la tabla 2.23 se tiene que la pleamar máxima registrada en la zona es de 1.31 m. por lo que para el estudio se consideró

como elevación del nivel del mar, el promedio de los dos valores, dando como resultado.

$$S_{Ar} = \frac{2.00 + 1.31}{2} = 1.65 \text{ m.}$$

En todos los ensayos se consideró un valor de 1.65 m.

2.4 BATIMETRIA FRENTE A LAS ESCOLLERAS.

Con el objeto de conocer la configuración del fondo marino se analizaron planos batimétricos proporcionados por la Residencia de Obras del Puerto, de modo que se obtuvieron las pendientes promedio frente a las escolleras; de acuerdo con esto se determinó una pendiente promedio de 32.26:1 frente a la escollera Oriente.

2.5 EL MODELO.

Osborne Reynolds, uno de los físicos que ha dado a la ciencia de la hidráulica una de sus mejores concepciones decía: " El experimentar con modelos parece que proporciona un medio más rápido de investigación, determinando casi en forma directa los efectos de cualquier trabajo portuario proyectado; medio que, después de lo que yo he visto, me sentiría avergonzado en despreciar antes de que se hubieran hecho intervenir los factores económicos de dicho proyecto ".

Con base en lo expresado por tan distinguido investigador inglés, se comprende la ventaja predominante de utilizar una replica a pequeña escala (MODELO) de un sistema (PROTOTIPO) que debe construirse.

Los estudios de un modelo se ejecutan con objeto de evitar los errores demasiados costosos, y permitan obtener toda la información que ayuda en el proyecto del prototipo, ya que es sumamente económico modificar tanto la construcción de un modelo como la de un diseño; en cambio sería excesivamente costoso si esa modificación se hiciera con el sistema a escala natural.

Es conveniente advertir que, no debe suponerse que los estudios realizados en los modelos hidráulicos reducidos, darán rápidas soluciones a todos los problemas. Se emplea tiempo y dinero en la prueba de un modelo que no representa, naturalmente, lo que pudiera invertirse en un prototipo y resulta una clara verdad el adagio que dice que: " Una prueba o un ensayo es más provechoso que mil opiniones de expertos "; aun cuando se conozca la naturaleza general del fenómeno, a veces se hace imposible construir un modelo que proporcione la información deseada y en ocasiones se invierte económicamente más, acudiendo al estudio de un modelo, que si los resultados se pudieran predecir por la teoría, o por la antigua y simple comparación con otras obras similares, que por la construcción, ya que la experimentación en un modelo es generosa comparada con el costo de investigaciones teóricas y los cálculos correspondientes; en ocasiones el costo del estudio de un modelo alcanza algunos cientos de miles de pesos; pero siempre resultará ventajoso atenerse a esta investigación en modelo, en vez de aceptar ideas sin fundamento.

No obstante sus limitaciones, los ensayos en modelo han demostrado ser muy satisfactorios y estos últimos, en ingeniería, han tenido un ritmo ascendente que hace imposible estimar su campo de aplicación, pues cada día se emplean más, sobre todo debido a dos causas: el desarrollo matemático siempre creciente y la creación de nuevos materiales.

2.6 MODELOS HIDRAULICOS.

En Hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado prototipo, mediante la entrada de una cierta información que se procesa y presenta en forma adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil.

Por tanto, un modelo físico a escala reducida, que en lo sucesivo se denominará MODELO HIDRAULICO, representa a escala al objeto real o prototipo, tal como un fenómeno, una estructura o una máquina, y cumple ciertas condiciones matemáticas definidas.

En la actualidad se dispone de técnicas avanzadas en la modelación física de fenómenos hidráulicos que, aunadas al desarrollo de instrumentos de medición y equipos generadoras de fenómenos a escala, permiten predecir con alto grado de certidumbre lo que pueda ocurrir en el prototipo y, por tanto, se obtienen óptimos resultados en los aspectos de funcionalidad, estabilidad y economía de las estructuras por construir. Esto justifica ampliamente la utilización de los modelos hidráulicos.

El empleo de un modelo hidráulico implica establecer un programa definido de investigación experimental sobre todas las variables que intervienen en forma particular o en grupo. Lo anterior se hace para poder verificar en su caso la validez de las soluciones analíticas de un problema dado, o determinar las leyes de relación entre las diferentes variables que, extrapoladas al prototipo, permitan optimizar la eficiencia de cada uno de los elementos del sistema modelo - prototipo. En ciertas etapas del programa y cuando el problema se puede describir con suficiente detalle utilizando modelos matemáticos, estos se emplean complementariamente con resultados satisfactorios.

La aplicación de cualquiera de los dos tipos de modelos, físicos o matemáticos, evidentemente tienen sus limitaciones, mismas que van a depender de la complejidad del problema en la intervención de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los más apropiados. Tal es el caso de flujos transitorios, sin embargo, es cada vez más interesante el uso combinado de los dos, ya que uno proporciona mejor información que el otro en zonas específicas de la región a estudiar.

El conjunto de hipótesis y relaciones de las variables que describen un fenómeno, constituyen un modelo matemático (ecuaciones), que conduce a un problema matemático que es necesario resolver mediante apropiadas técnicas matemáticas.

El uso de los modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que estos deben ser semejantes al prototipo para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan las magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos

sistemas, el prototipo y el modelo.

a) **Similitud Geométrica.** Es la similitud de forma. La relación de dos dimensiones cualesquiera en el modelo es la misma que la relación correspondiente en el prototipo.

b) **Similitud Cinemática.** Es similitud de movimiento, por lo que hay que tener en cuenta una magnitud vectorial y el factor tiempo.

c) **Similitud Dinámica.** Para que exista similitud dinámica, las fuerzas que actúan en puntos homólogos cualesquiera de los dos sistemas han de guardar siempre la misma relación y actuar en la misma dirección.

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL.

3.1 MODELO HIDRAULICO BIDIMENSIONAL.

3.1.1 SELECCION DE LA ESCALA DEL MODELO.

Para que un modelo hidráulico pueda reproducir los fenómenos naturales con una fidelidad aceptable, es necesario utilizar una escala adecuada en la elaboración del mismo. De acuerdo con esto, es importante determinar las fuerzas que predominan en el fenómeno a estudiar y que se simularán en el modelo.

En nuestro caso, las fuerzas más importantes resultan ser las de inercia y gravitacionales. Por lo tanto el criterio de similitud entre modelo y prototipo será el que nos relaciona estas fuerzas, dicho criterio es el de Froude.

Esta Ley de Similitud establece que los números de Froude en prototipo y modelo deben de ser iguales. El número de Froude (F) se define como:

$$F^2 = \frac{V^2}{gL} \quad (3.1)$$

donde:

- V : Es la velocidad del flujo.
- g : La aceleración de la gravedad.
- L : La longitud característica.

La condición que deberá cumplirse es:

$$F_m^2 = F_p^2 \quad (3.2)$$

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

Sustituyendo (3.1) en (3.2) se obtiene:

$$\frac{V_m^2}{g_m L_m} = \frac{V_p^2}{g_p L_p} \quad (3.3)$$

Dado que la aceleración de la gravedad g es la misma tanto en modelo como en prototipo, la ecuación (3.3) cambia:

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

o bien:

$$\frac{V_m}{V_p} = \left[\frac{L_m}{L_p} \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

La ecuación (3.5) indica que la escala de velocidades debe ser igual a la raíz cuadrada de la escala de líneas.

Con base en lo anterior y tomando en cuenta las características de los oleajes y niveles del mar a reproducir en el modelo, se selecciono una escala de líneas de 1:35 para un modelo de fondo móvil y sin distorsión.

En función de la Ley de Similitud de Froude y a la escala de líneas propuesta, se obtuvieron las siguientes relaciones de escalas:

Escala de líneas	$E_L =$	35.00
Escala de longitudes de ola	$E_L =$	35.00
Escala de altura de olas	$E_H =$	35.00
Escala de periodos de ola	$E_T =$	5.91
Escala de celeridades de ola	$E_C =$	5.91
Escala de fuerzas	$E_F =$	42,875.00
Escala de pesos	$E_W =$	42,875.00

3.1.2 ARREGLO DEL MODELO.

Los ensayos se realizaron en un canal de oleaje con dimensiones de 35.00 m. de longitud, 4.70 m. de ancho y 1.30 m. de altura, el cual cuenta con un generador de oleaje irregular en uno de sus extremos, que está dotado de una paleta generadora de oleaje de movimientos traslacional accionado mediante un motor de 30 Kva., cuyo control se efectúa por procedimientos electrónicos controlados por un equipo de cómputo.

En el extremo contrario se construyó un talud de tesontle para absorción de energía del oleaje, el cual limitará la ocurrencia de reflexiones.

En el interior del canal se reprodujo el perfil del fondo marino frente a la escollera Oriente en una longitud de 12.21 m. en el

modelo con pendiente 32.26:1 y un tramo de 8.30 m. de transición con pendiente 20:1 para poder ligar el fondo del canal con la pendiente del fondo marino.

Sobre el perfil del fondo marino se colocó la prolongación del rompeolas sumergido frente al morro de la escollera oriente. (Foto N° 1).

3.1.3 CONSTRUCCION DEL MODELO.

Definida la ubicación del modelo, se procedió a la construcción del mismo, para lo cual se procedió a realizar inicialmente la estabilización del perfil playero a través de la generación de oleaje con periodo significativo de 10 seg. y altura de ola de 1.0m durante 2 hrs. de ensayo; ya con lo anterior se procedió a la construcción de la prolongación de la escollera Oriente, a través de una estructura formada por elementos de bolsacreto, la cual fue de tipo sumergido.

Por lo que respecta a los elementos de bolsacreto, y con base a la escala del modelo, se establecieron los pesos unitarios de cada uno de los elementos; de aquí se definió el tipo de material a utilizar en la fabricación de estos, que para el caso fue una combinación de plastilina y ferrofest. La plastilina se derritió en pequeños

envases de porcelana a base de calor, la que una vez en estado líquido, se le agregó el ferrofest, mezclando perfectamente dichos materiales y colocando la mezcla en las cimbras construidas expreso de acuerdo con las dimensiones del bolsacreto de 6.5 Ton. De esta manera se consiguió que el peso volumétrico de los elementos bolsacreto fuera de 2.2 Ton/m³. Para prever posibles

oxidaciones del material en presencia del agua, los elementos se pintaron.

3.1.4 INSTRUMENTACION.

Para la medición del oleaje generado se utilizaron dos sondas de tipo capacitivo, formadas por un cable de nylon recubierto de teflón. La sonda N°1 se destino a medir las alturas de ola en la prof. de 28 m. (prototipo) contigua al generador de oleaje y la sonda N°2 en las inmediaciones de la estructura en ensayo.

Las señales analógicas producidas por las sondas fueron enviadas al convertidor de señales (analógico/digital) con que cuenta el equipo de cómputo, para ya digitalizadas ser analizadas por la computadora y obtener las alturas y periodos del oleaje medido.

Con los datos anteriores y los daños detectados en la estructura durante los ensayos, fue posible obtener varios gráficos que relacionan alturas de ola significativa vs. daño.

3.1.5 PROGRAMA DE ENSAYOS.

El programa de ensayos realizados para determinar las condiciones de estabilidad de la escollera sumergida, se muestran en la tabla 3.1.

TABLA 3.1.

PROGRAMA DE ENSAYOS DE ESTABILIDAD

ENSAYO N°	O B J E T I V O	SUMER- GENCIA	NIVEL DEL MAR	Hs (m)	T (SEG)
1	Medición del daño en la estructura tipo 1, ángulo de incidencia del oleaje 67.5°, base = 10.20m, corona = 1.70m, altura = 3.0m.	1.50 m	N.B.N.I 0.00	var.	10
2	Mismas condiciones al ensayo anterior.	3.15 m	+1.65	var.	16
3	Mismas condiciones al ensayo N°1, con incidencia del oleaje de 45°.	3.15 m	+1.65	var.	16
4	Medición del daño en la estructura tipo 2, ángulo de incidencia del oleaje 45°, base = 10.20m, corona = 3.40m, altura = 3.0m.	3.15 m	+1.65	var.	16
5	Medición del daño en la estructura tipo 3, ángulo de incidencia del oleaje 45°, base = 11.90m, corona = 3.40m, altura = 3.0m.	3.15 m	+1.65	var.	16

3.1.6 CONDICIONES Y PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS.

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS.

- a) En todos los ensayos se utilizó el espectro de Bretschneider-Nitsuyasu para calcular las señales de oleaje irregular utilizadas en los ensayos.

- b) Se utilizó un nivel de tormenta de +1.65 m. sobre el nivel de bajamar media inferior para los ensayos con periodo de oleaje significativo de 16 seg.
- c) En los ensayos la ola se midió a 18 m. de profundidad (prototipo).

PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS.

- a) En cada ensayo con tiempo de duración de 10 minutos, se midió el oleaje durante 6.8 minutos con los sensores descritos anteriormente.
- b) Entre ensayo y ensayo se fue incrementando la altura del oleaje, así como midiendo el daño acumulado en la estructura.
- c) Los ensayos para una determinada prueba se detenían cuando los daños acumulados por la estructura, presentaban valores muy grandes con respecto al máximo permisible (aproximadamente de 30).

3.1.7 PRESENTACION DE LA INFORMACION EXPERIMENTAL.

De las tres secciones básicas de escollera sumergida probadas, y para las dos condiciones de ensayo (periodos de 10 y 16 seg.), se realizaron una serie de gráficas que relacionan alturas de ola vs. daño, mismas que con base a los resultados obtenidos, adicionalmente en cada caso, se obtuvo una recta que calibrara dichos datos (regresión lineal), dichas gráficas se muestran en las Fig. N° 3.1 a 3.5.

En las fotografías 1 a 10 se pueden observar las condiciones iniciales de cada ensayo y los resultados después del mismo para cada una de las estructuras probadas.

3.1.6 RESULTADOS OBTENIDOS.

De acuerdo con los ensayos realizados y a las gráficas obtenidas se encontraron los resultados que se muestran en la tabla 3.2.

TABLA 3.2.

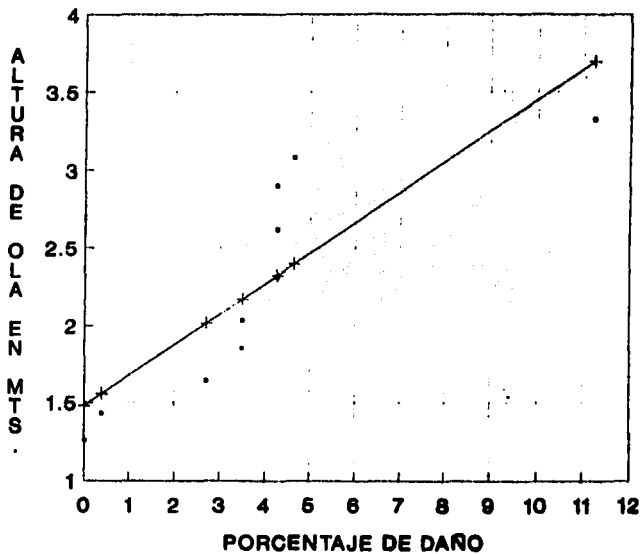
CARACTERISTICAS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

ENSAYO N°	N° BOL-SAS EN LA BASE	N° BOL-SAS EN CORONA	ALTURA DE LA OBRA (m)	NIVEL DEL MAR S.N.S.M.I	PERIODO (seg)	ALTURA DE OLA (m)	% DE DAÑO
1	6	1	3.0	0.00	10	3.0	7.60
2	6	1	3.0	+1.65	16	3.0	8.60
3	6	1	3.0	+1.65	16	3.0	6.80
4	6	2	3.0	+1.65	16	3.0	3.60
5	7	2	3.0	+1.65	16	3.0	2.85

NOTAS: La altura de ola corresponde a 28.0 m. de profundidad en prototipo.
S.N.S.M.I. significa Sobre el Nivel de Bajamar Media Inferior.
Las dimensiones de las bolsas son 3.50 x 1.70 x 0.50 m.
En el ensayo N° 2 el ángulo de incidencia fue de 67.5° y 45° para el ensayo N° 3.

De la tabla anterior se puede concluir que la estructura que presentó una mayor resistencia al oleaje fue la probada en el ensayo N°5 que corresponde a una estructura formada por 7 bolsas en la base y 2 bolsas en la corona formando una estructura piramidal (Foto N° 9) de 3.0 m. de altura, y con un peso volumétrico de 2.2 Ton/m³ lo cual implica que el mortero arena-cemento y agua de mar debe ser estrictamente controlado con un revenimiento de 18 a 22, lo cual obliga a utilizar bombas de concreto de la capacidad de empuje correspondiente a la carga de esta mezcla en 200 m de

GRAFICA DE ESTABILIDAD T=10 SEG.

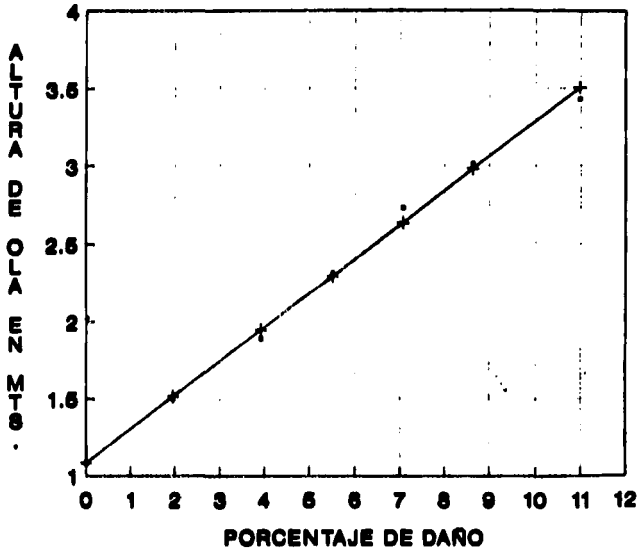


• DATOS + REGRESION LINEAL

ENSAYO No. 1
ANGULO DE INCIDENCIA = 67.5 GRADOS

FIGURA 3.1. GRAFICA DE ESTABILIDAD. T = 10 SEG.

GRAFICA DE ESTABILIDAD T=16 SEG.

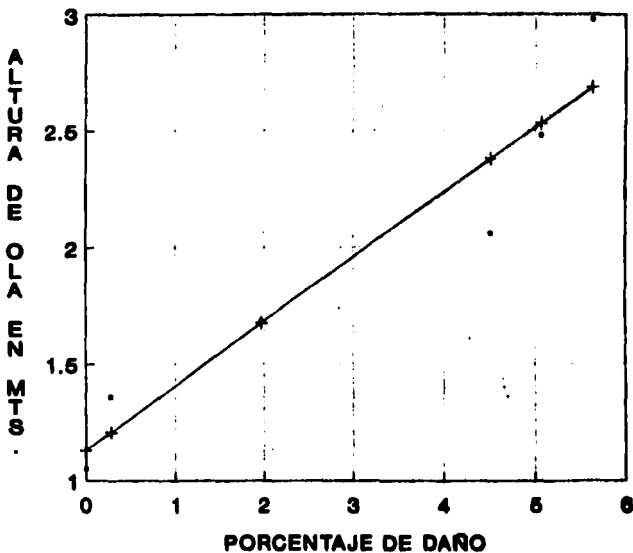


• DATOS —+— REGRESION LINEAL

ENSAYO No. 2
ANGULO DE INCIDENCIA • 67.6 GRADOS

FIGURA 3.8. GRAFICA DE ESTABILIDAD. T = 16 SEG.

GRAFICA DE ESTABILIDAD T=16 SEG.

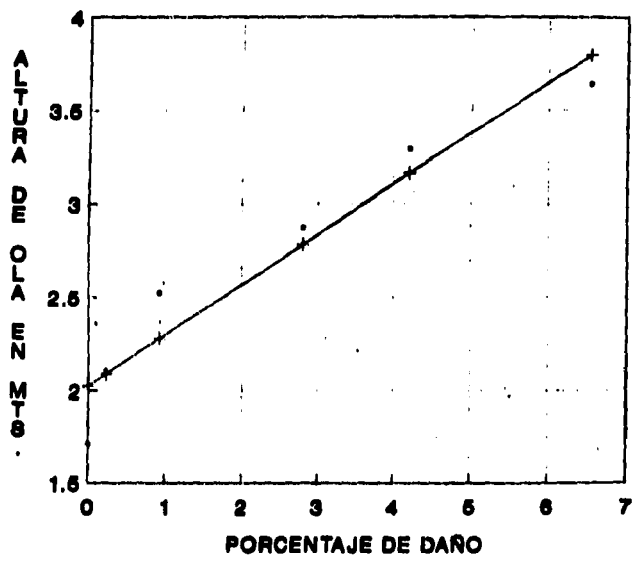


• DATOS + REGRESION LINEAL

ENSAYO No. 3
ANGULO DE INCIDENCIA = 45 GRADOS

FIGURA 3.3. GRAFICA DE ESTABILIDAD. T = 16 SEG.

GRAFICA DE ESTABILIDAD T=16 SEG.

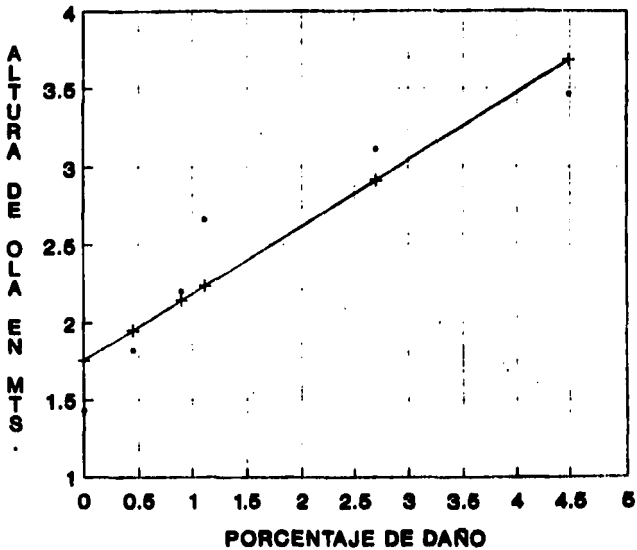


• DATOS + REGRESION LINEAL

ENSAYO No. 4
ANGULO DE INCIDENCIA = 45 GRADOS

FIGURA 3.4. GRAFICA DE ESTABILIDAD. T = 16 SEG.

GRAFICA DE ESTABILIDAD T=16 SEG.



ENSAYO No. 5
ANGULO DE INCIDENCIA = 45 GRADOS

FIGURA 3.5. GRAFICA DE ESTABILIDAD. T = 16 SEG.

longitud. Controlando el mortero de esta manera, se evitaría el procedimiento usual de llenado el cual no es aceptable para este tipo de obra.

3.2. MODELO HIDRAULICO TRIDIMENSIONAL.

La finalidad de este modelo fue la de observar cualitativamente la prolongación sumergida de 200 m. de la escollera Oriente en cuanto a su capacidad para retener el transporte de sedimentos causado por el oleaje.

Para lograr lo anterior, se utilizó un tanque de olas de 42.90 m x 26.27 m x 1.30 m. equipado con 2 generadores de oleaje tipo pistón compuestos cada uno de una paleta de 10 m. de largo por 1.70 m de alto, un servo-mecanismo a base de un motor de corriente directa de 30 KVA y una unidad de impulso que obedece a una señal mandada por una computadora.

Para reproducir las condiciones naturales en dicho tanque se tomaron en cuenta las siguientes condiciones naturales.

3.2.1. CONDICIONES NATURALES.

a) Oleaje.

De acuerdo con los datos estadísticos de oleaje normal para la zona, definidos del Ocean Wave Statistics se tiene.

DIRECCION DE PRESENTACION	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE (m)	PERIODO SIGNIFICANTE (seg)
S 60° E	1.78	10.00
S 30° E	1.90	11.00
SUR	2.20	10.00
N 60° W	1.74	9.00
N 30° W	2.15	9.00
W	1.52	8.00

b) Sedimento.

De acuerdo con las muestras de material de las dunas, estrán, rompientes, -1.0 y -2.0 m., el diámetro medio de la arena resultó ser de 0.2 mm y la densidad de 2.7, según el reporte "Estudio de Acarreo y Estabilidad en Puerto Madero, Chis".

c) Profundidad de movimiento del material.

Para determinar la profundidad de movimiento completo y superficial del sedimento, se utilizó el criterio de Sato y Tanaka, el cual se basa en la siguiente expresión.

$$\frac{H_2}{L_0} = a \left(\frac{D}{L_0} \right)^n \left(\text{senh} \frac{2\pi h_1}{L} \right) \left(\frac{H_2}{H} \right)$$

siendo:

H_0 : Altura de la ola en aguas profundas.

L_0 : Longitud de ola en aguas profundas.

n y a : Coeficientes que dependen del tipo de movimiento.

D : Diámetro del material.

h_1 : Profundidad de movimiento del material.

L : Longitud de la ola a la profundidad h_1 .

H : Altura de la ola a la profundidad h_1 .

De acuerdo con el criterio anterior y considerando una ola de aguas profundas de 2.20 m con período de 10 seg. se obtuvieron los siguientes resultados.

Profundidad de movimiento superficial; $h_1 = 14.04$ m.

Profundidad de movimiento completo; $h_2 = 6.24$ m.

Altura de ola para movimiento completo; $H = 2.34$ m.

d) Gasto s3lido transportado.

Con base en el reporte mencionado en el inciso "b", se tiene que el transporte litoral existente en Puerto Madero, Chic., es del orden de 400 000 m³/año.

3.2.2. SELECCION DE ESCALAS.

De acuerdo al espacio disponible en el Laboratorio que es de 1,126.98 m³ y al trazo de playa natural que es de 165,000 m³ a representar, se eligió una escala de líneas horizontal de 1/150.

Con la escala anterior seleccionada y considerando que se utilizaría arena de mar como fondo móvil del modelo, se encontró de acuerdo con la figura 3.a., que la escala vertical sería de 1/45.

3.2.3. ARREGLO DEL MODELO.

Definidas las escalas y las profundidades para inicio de movimiento de material playero, se colocó una playa de arena en el tanque con pendiente de 30:1 que es similar a la pendiente promedio de la zona hasta una profundidad de 31.2 cm (14.04 m en prototipo) que es el límite para movimiento superficial de la arena.

Colocada la playa, se representaron 800 m. finales de la escollera Oriente y 250 m. de la escollera Poniente, simulando el canal de acceso a la profundidad de -11.00 m. El arreglo del modelo se puede ver en la foto N°12.

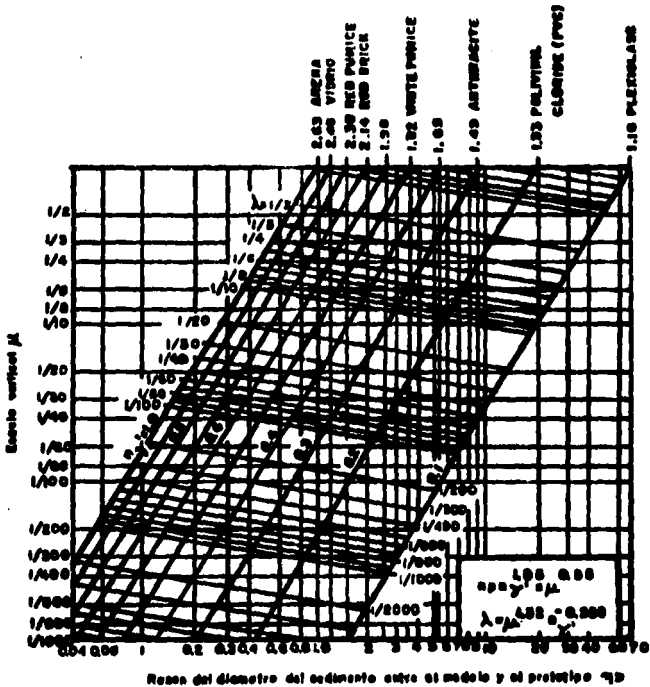


FIGURA 3.a. Diagrama de la Ley de Similitud sobre la seccion de la playa por Nada (1972).

FALLA DE ORIGEN

3.2.4. CONDICIONES Y PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS.

Los ensayos se realizaron considerando un gasto sólido en el modelo de 0.003 m³/min. con el objeto de representar cualitativamente el transporte del prototipo.

Con este gasto así establecido, se inició la operación del modelo, en el cual se realizaban levantamientos del avance de la playa a cada 2.0 horas.

3.2.5. RESULTADOS OBTENIDOS.

Después de 5.4 hrs. de operación, la línea de playa del modelo se comportó de manera semejante a la del prototipo, que fue la línea de playa levantada en febrero de 1993, como puede verse en la fig.3.6.

Logrado lo anterior, se siguió operando el modelo hasta que la arena empezó a rebasar el extremo de la escollera Oriente (Foto N°12), midiendo a cada 2 hrs el gasto sólido rebasado, el cual se fue incrementando hasta que en determinado momento (10 hrs después del inicio de rebase) prácticamente se obtuvo el mismo volumen de rebase, como puede verse en la fig.3.7, el cual resultó ser de aproximadamente 18.00 lts/hora.

Con estas condiciones del modelo, se procedió a colocar la prolongación sumergida de la escollera (200 m en prototipo), como se observa en la Foto N° 13, colocando trampas de arena en la parte extrema, media e inicio de la estructura sumergida, con el objeto de evaluar el transporte en cada zona de dicha estructura.

Arreglado el modelo en estas condiciones, se puso en operación y al final de cada 2 hrs de ensayo se medía el gasto sólido que lograba rebasar la estructura, como puede verse en la Foto N°14.

Operando el modelo en dichas condiciones se obtuvieron las curvas de la Fig.3.8 donde se puede observar el porcentaje de material que pasa sobre cada tramo de la escollera sumergida.

3.2.6. EVALUACION APROXIMADA DE LA VIDA UTIL DE LA PROLONGACION.

Para hacer una evaluación aproximada de la vida útil de la prolongación sumergida de la escollera Oriente, se consideró el tiempo y el tramo de escollera sumergida rebasada por el material, encontrándose lo siguiente.

TIEMPO DE ENSAYO (hrs. modelo)	LONGITUD REBASADA (m. prototipo)
15:55	80.0
17.55	87.0
19.55	90.0

Encontrados estos valores se procedió a definir una escala de tiempos morfológicos, la cual se determinó a partir del volumen de material rebasado al inicio de la colocación de la prolongación (18 lts), convertida a prototipo según la escala de volúmenes, y al volumen de material del prototipo (400 000 m³/año) resultando ser de:

1 hora modelo = 17 días prototipo.

De acuerdo con la escala anterior se encontraron los siguientes valores de prototipo.

LONGITUD DE LA OBRA (m)	TIEMPO DE VIDA UTIL (años)
50.0	8.81
80.0	9.94
90.0	11.07

COMPARACION DE LOS AVANCES DE LA LINEA DE PLAYA DEL MODELO CON EL PROTOTIPO.

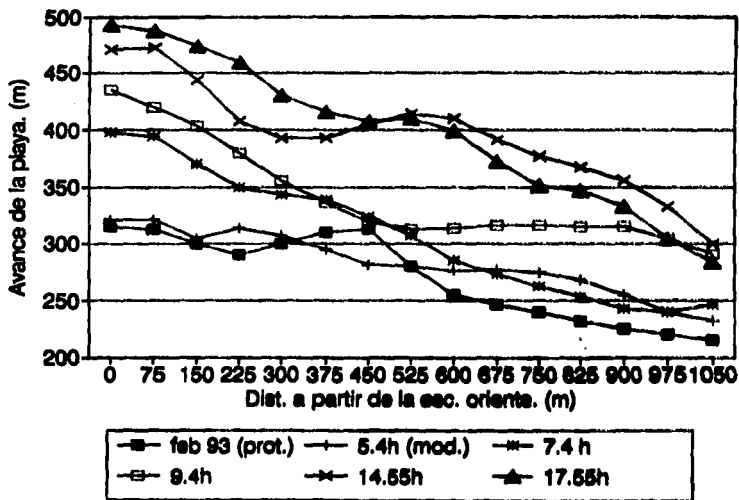
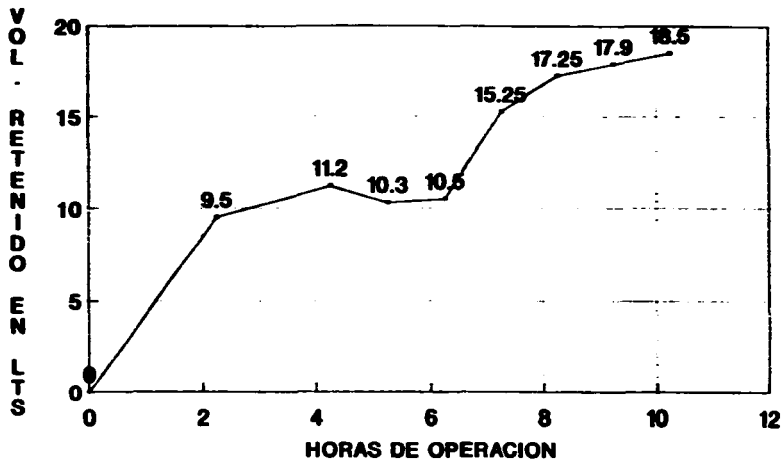


FIGURA 3.6. COMPARACION DE LOS AVANCES DE LA LINEA DE PLAYA DEL MODELO CON EL PROTOTIPO.

VOLUMEN DE MATERIAL QUE REBASA

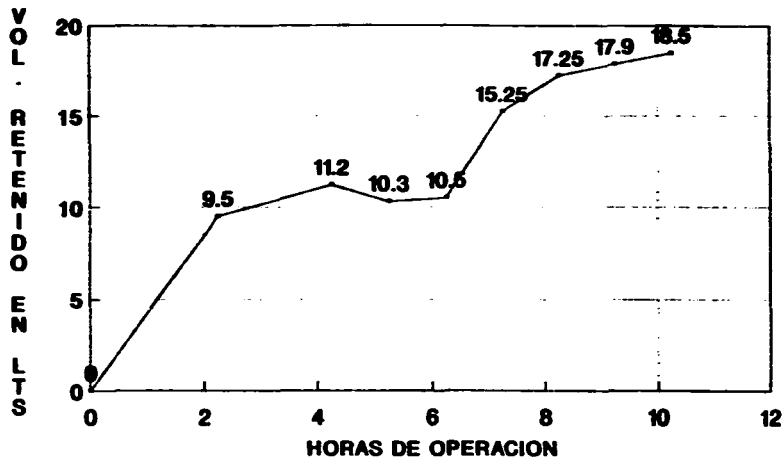


—●— MODELO

ESCOLLERA SUMERGIDA

FIGURA 3.7. VOLUMEN DE MATERIAL QUE REBASA.

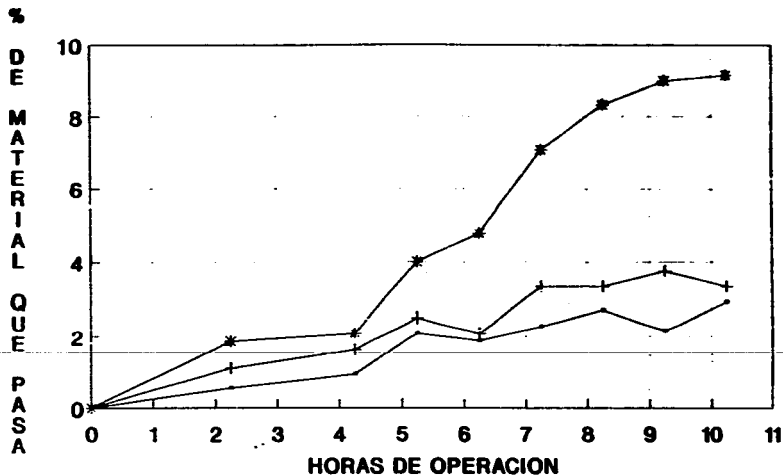
VOLUMEN DE MATERIAL QUE REBASA



ESOLLERA SUMERGIDA

FIGURA 3.7. VOLUMEN DE MATERIAL QUE REBASA.

PORCIENTO DE MATERIAL QUE PASA

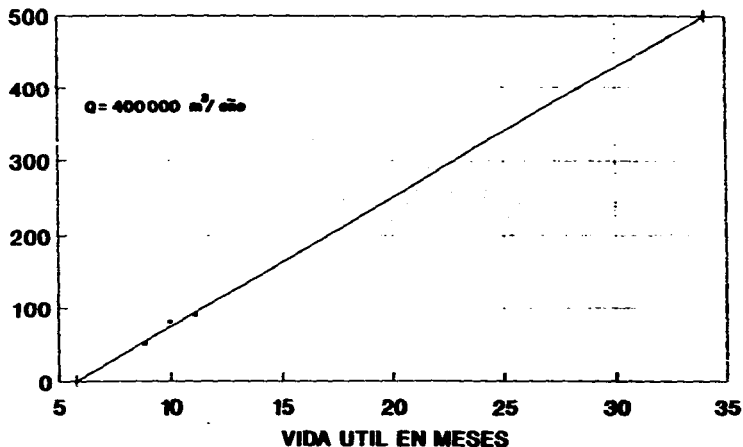


ESCOLLERA SUMERGIDA

FIGURA 3.8. PORCIENTO DE MATERIAL QUE PASA.

VIDA UTIL PROL. ESCOLLERA ORIENTE

L
O
N
G
E
S
C
O
L
L
E
R
A
E
N
M
E
T
R
S

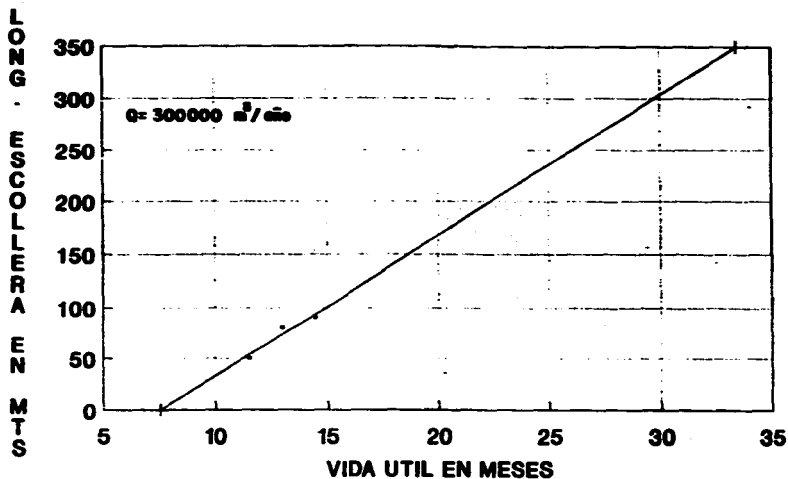


• MODELO —+— REGRESION LINEAL

ESCOLLERA SUMERGIDA

FIGURA 3.9. VIDA UTIL PROL. ESCOLLERA ORIENTE.

VIDA UTIL PROL. ESCOLLERA ORIENTE



• MODELO
—+— REGRESION LINEAL

ESCOLLERA SUMERGIDA

FIGURA 3.10. VIDA UTIL PROL. ESCOLLERA ORIENTE.

Con los valores anteriores se calculó el tiempo de vida útil de los 200.0 m. de prolongación propuesta, utilizando el método de regresión lineal, encontrándose los resultados que se muestran en la Fig. 3.9, donde se puede observar que los 200.0 m. propuestos podrían tener una vida útil aproximada de 17 meses.

Como la vida útil de este tipo de obra depende en gran medida del gasto sólido transportado, se hizo un nuevo cálculo, considerando un gasto sólido de 300 000 m³/año, teniendo con esta consideración que la vida útil de la estructura sumergida sería de 23 meses aproximadamente, como puede verse en la Fig.3.10.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo con los ensayos realizados se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- a) Es de primordial importancia para la estabilidad de la estructura el que el peso volumétrico del relleno de las bolsas sea de 2.2 Ton/m³. Esto implica que el mortero arenamiento y agua de mar debe ser estrictamente controlado con un revenimiento de 18 a 22 lo cual obliga a utilizar bombas de concreto de la capacidad de empuje correspondiente a la carga de esta mezcla en 200 m de longitud. No es aceptable el procedimiento usual del llenado del bolsacreto.
- b) En cuanto a la estabilidad de los elementos de la estructura sumergida, no es conveniente colocar una sola bolsa como corona de la misma.
- c) El pie de la estructura sufre socavación, lo cual trae como consecuencia el desacomodo de las bolsas de la base de la estructura.
- d) Es necesario terminar el coronamiento de la estructura con 2 bolsas colocadas sobre la corona de la misma.

- e) En cuanto a la vida útil de la prolongación sumergida, esta se estima de manera aproximada, que sería de 17 a 23 meses, dependiendo del gasto que se mueva en el prototipo.
- f) Los valores del inciso "e" deben tomarse con mucha reserva ya que fueron sacados de un modelo hidráulico tridimensional que no fue del todo calibrado, pues únicamente se consideró el desplazamiento en planta de la línea de costa, sin considerar los cambios en cuanto a profundidades y pendientes de la misma.

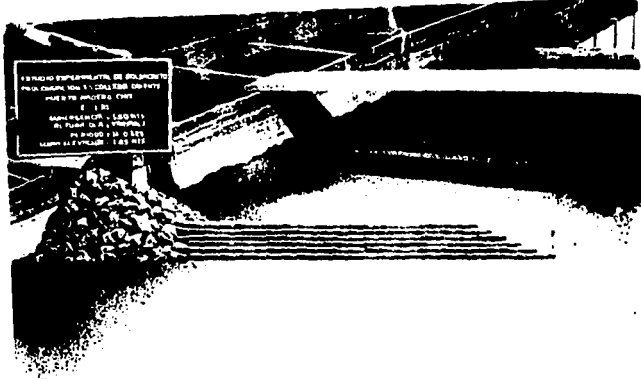


Foto N° 1. Arreglo de la estructura para el ensayo N°1
 Angulo de incidencia del oleaje 67.5°
 Base = 10.20 m, Corona = 1.7 m, Altura = 3.0 m.



Foto N° 2. Daño sufrido por la estructura al final del ensayo N°1 con un periodo de ola de 10 seg.

FALLA DE ORIGEN



Foto N° 3. Arreglo de la estructura para el ensayo N°2.
Angulo de incidencia del oleaje 67.5° .
Base = 10.20 m, Corona = 1.70 m, Altura = 3.0m.



Foto N° 4. Daño sufrido por la estructura al final del ensayo
N°2 con periodo de 16 seg.

FALLA DE ORIGEN

ESTUDIO ESTRUCTURAL DE UN BARRIO
DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DE LA CIUDAD DE MADRID (1901)
F. L. G.
SARRE Y LEBLANC S. L. G.
AV. EUROPA, 18. MADRID
PERIODO DE 16 SEG.
SARRE Y LEBLANC S. L. G.

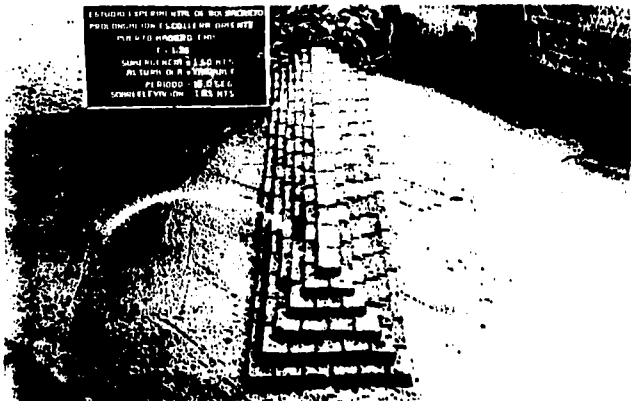


Foto N° 5. Arreglo de la estructura para el ensayo N°3.
Angulo de incidencia del oleaje 45°.
Base = 10.20 m, Corona = 1.70 m, Altura = 3.0m.

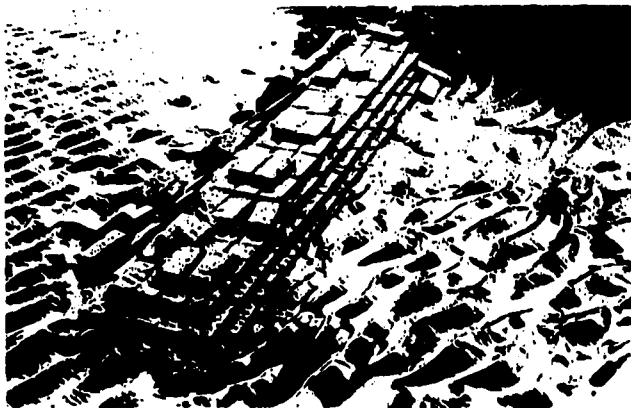


Foto N° 6. Vista final de la estructura después del ensayo N°3
con periodo de 16 seg.

FALLA DE ORIGEN

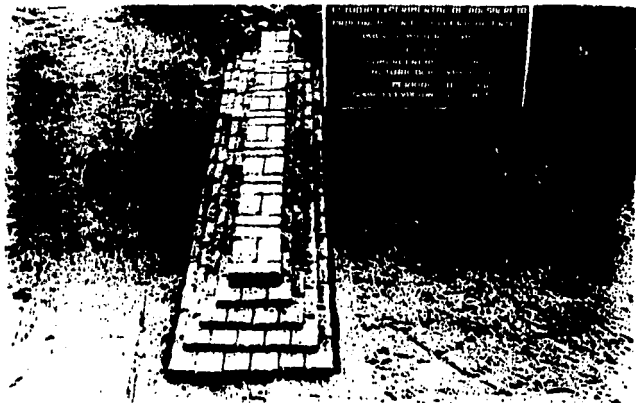


Foto N° 7. Arreglo de la estructura para el ensayo N°4.
 Angulo de incidencia del oleaje 45°.
 Base = 10.20 m, Corona = 3.40 m, Altura = 3.0m.

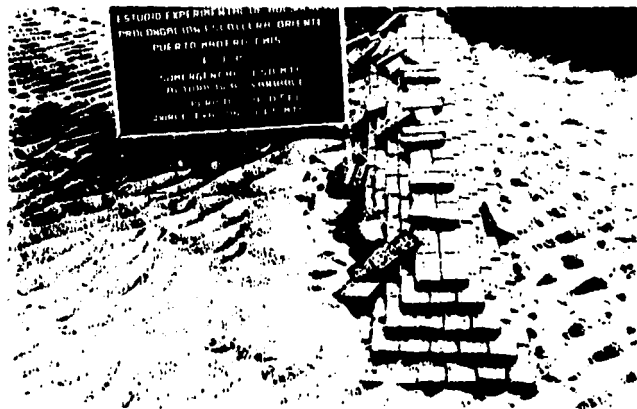


Foto N° 8. Daño sufrido por la estructura al final del ensayo N°4 con periodo de 16 seg.

FALLA DE ORIGEN

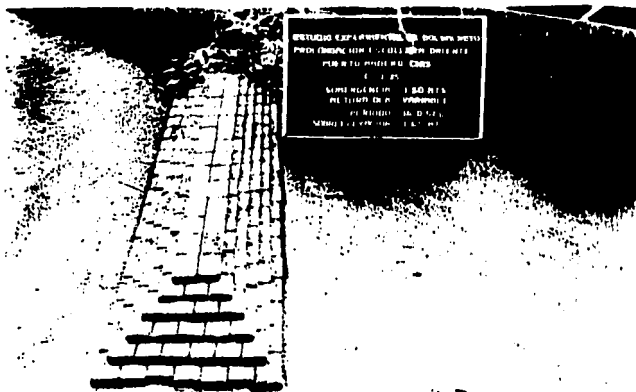


Foto N° 9. Arreglo de la estructura para el ensayo N°5.
 Angulo de incidencia del oleaje 45°.
 Base = 11.90 m, Corona = 3.40 m, Altura = 3.0m.

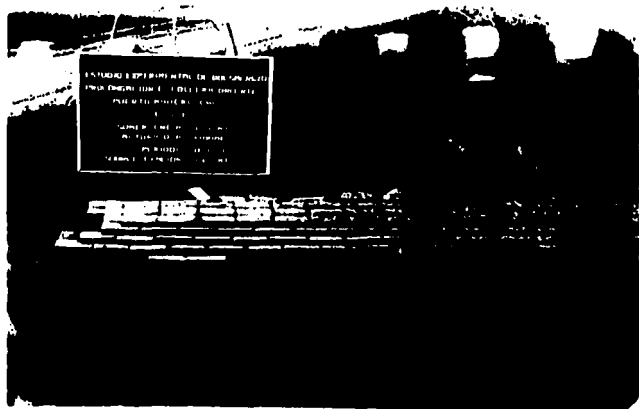


Foto N° 10. Daño sufrido por la estructura al final del ensayo N°5 con periodo de 16 seg.



Foto N° 11. Vista de la escollera Oriente del modelo de Puerto Madero, Chis., al inicio de los ensayos de transporte litoral.

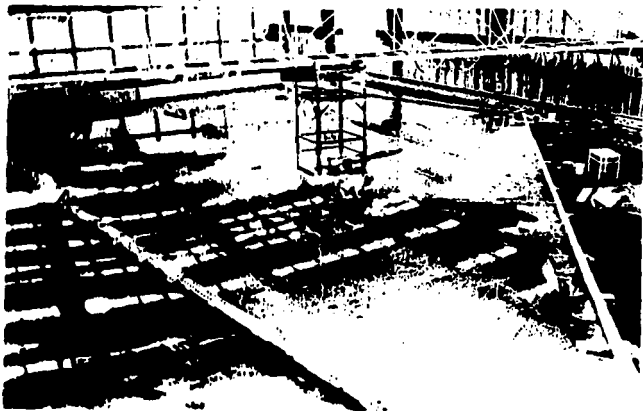


Foto N° 12. Vista general del modelo de Puerto Madero, Chis., donde se observa la escollera oriente completamente saturada por el material acumulado por el oleaje.

FALLA DE ORIGEN

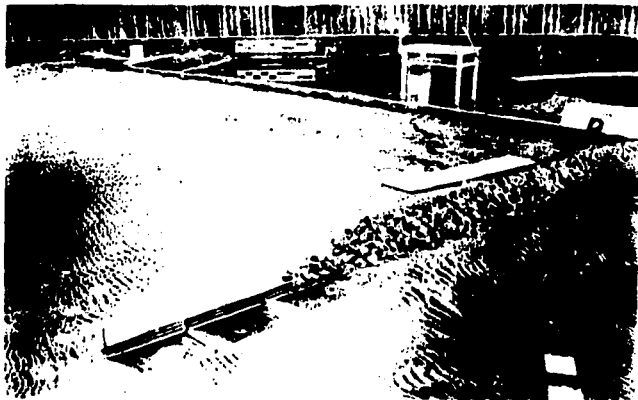


Foto N° 13. Prolongación sumergida de la escolleta oriente y trampas de arena adosadas a la prolongación.

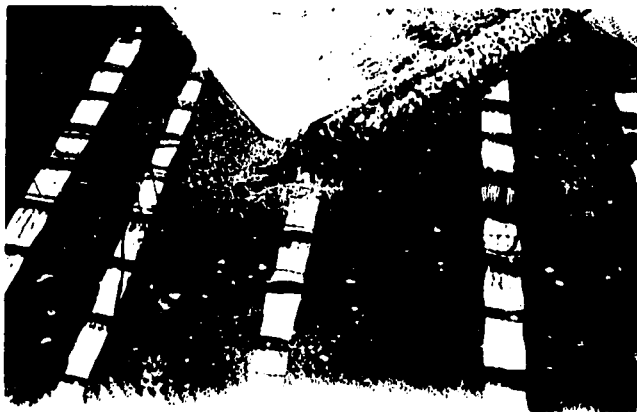


Foto N° 14. Material que rebasa la estructura sumergida y es atrapado por las trampas de arena al final del ensayo.

FALLA DE ORIGEN

R E F E R E N C I A S.

- 1.- ESTUDIO EN MODELO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PUERTO EN EL ESTADO DE CHIAPAS. Tesis que presentó el Teniente Coronel de ingenieros. Lionel Rivera Morataya.**

- 2.- ESTUDIO DEL TRANSPORTE LITORAL EN LA COSTA OESTE DEL PUERTO DE SALINA CRUZ OAXACA, EN BASE A FORMULAS EMPIRICAS Y MEDICIONES DIRECTAS. Tesis que presentó el Teniente P.I. Jaime Bonales Valencia.**

- 3.- PLANEACION Y EJECUCION DEL EXPERIMENTO FISICO. Puertos Mexicanos.**

- 4.- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. Comision Federal de Electricidad.**

- 5.- CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE PUERTO MADERO, CHIAPAS. CIPSA Consultores.**