



29
zej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

**“ ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS MOVIMIENTOS DE UN
BARCO ATRACADO EN EL MUELLE CARBONIFERO DEL
PUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICH. ”**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

ISAIAS PALMAS ARELLANOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón, Estado de México, 1988



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.

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. CONDICIONES OCEANOGRAFICAS	6
2.1 Oleajes	7
2.2 Corrientes	17
2.3 Mareas	17
2.4 Vientos	17
2.5 Conclusiones	19
3. PROYECTO DE PLANEACION DEL PUERTO	20
4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL MUELLE CARBONIFERO	33
4.1 Descripción del muelle carbonífero	33
4.2 Características estructurales del muelle	33
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
5.1 Componentes del movimiento de un barco	35
5.2 Instalaciones Experimentales	36
5.3 Modelo de barco y muelle	37
5.4 Modelo del sistema de amarras	40
5.5 Método experimental para la medición del movimiento del barco	42
5.6 Método experimental	43
5.7 Medición y análisis del oleaje	49
6. RESULTADOS	56
6.1 Movimiento de Balanceo sin amarras y sin oleaje	56
6.2 Movimiento del barco con amarras (Restricciones simétricas) y sin oleaje	61
6.3 Movimiento del barco con oleaje	80
7. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFIA	91

C A P I T U L O I

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

La figura 1.1 muestra la localización geográfica del Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas; el cual se encuentra enclavado en la costa del Estado de Michoacán y se localiza en el Delta que forma el Río Balsas en su desembocadura, en la latitud $17^{\circ} 56'32''$ Norte y Longitud $102^{\circ} 11'19''$ Oeste (según la fig. 1.1)



Fig. 1.2 Accesos principales al Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas.

En la figura 1.2 se muestran las diferentes formas de llegar al puerto; por carretera, ferrocarril y por vía aérea. Por carretera se toma la federal N^o. 200 que va costeando desde

Tapachula hasta Tepic. Por la federal N°. 37 que procede de Uruapan. Por ferrocarril saliendo de la Ciudad de México hacia Lázaro Cárdenas; conectando en Acámbaro con el ferrocarril México-Nuevo Laredo y el México-Manzanillo con ramal a Morelia. Por vía aéreas se utiliza el Aeropuerto Internacional de Ixtapa-Zihuatanejo localizado a 122 km. del Puerto, además existen otras aeropistas ubicadas en Morelia, Uruapan y Pátzcuaro y un aeropuerto local para servicios regionales.

Entre otros servicios con los que cuenta el puerto se mencionan las oficinas de teléfono, telégrafo, radio y televisión.

Antes de la construcción del puerto, se llevaron a cabo estudios de los diferentes sitios que pudieran permitir el establecimiento de dicho aprovechamiento en la zona del Bajo Río Balsas. Fué así como en 1938 se planteó la posibilidad de utilizar la Bahía de Petacalco como un posible lugar para la localización del Puerto; en 1951 se estudió el Estero de Calabazas, localizado a 25 km. al Oeste de la desembocadura; en 1954 el Estero del Pichi; en 1959 la zona de Playa Azul, lugares todos localizados entre el estero de Calabazas y la desembocadura del Río. (ver fig. 1.3)

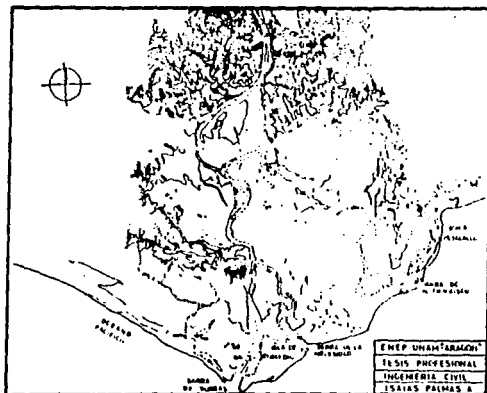


Fig. 1.3 Zona de estudio para localizar el Puerto

Ante la necesidad de definir el proyecto más adecuado, se organizaron desde 1962 campañas de estudios físicos (vientos, mareas, corrientes, topografía, batimetría, etc), con los cuales se pudo obtener el mayor cúmulo de datos sobre los fenómenos naturales, con el fin de llegar a definir la zona de ubicación del puerto más favorable.

Después de analizar todas las alternativas posibles, se concluyó que el sitio más adecuado sería la Barra de la Necesidad como la entrada al Puerto y además cerrando la Barra de Burras, para de esta forma haber quedado establecido el sitio idóneo en donde se construyó el Puerto.

Dentro del puerto está en proyecto la instalación de una planta Carbo-eléctrica por Minera Carbonífera Río Escondido (MICARE), en donde se contempla la construcción de un muelle para la descarga del carbón en la margen izquierda del canal de acceso que actualmente tiene una profundidad de 14 mts. y un ancho de 150 mts., el cual se proyecta ampliar a 400 mts. de ancho de plantilla con taludes 3:1, en sus márgenes en una primera etapa para recibir embarcaciones de hasta 60,000 T.P.M. (toneladas de peso muerto), y en etapa futura a profundidades de 17 mts. para recibir embarcaciones de hasta 120 000 T.P.M.

Con el fin de verificar las condiciones del muelle en cuanto a su ubicación, áreas de maniobras, agitación y en general, las operaciones requeridas para una buena maniobra de las embarcaciones; se consideró necesario realizar los experimentos sobre los movimientos de un barco atracado expuesto al oleaje, dado que es una etapa importante para la planeación de un puerto.

Con la información obtenida se está en posibilidad de calcular el tiempo de operación del muelle, con el objeto de determinar si es ó no adecuada la alineación de los rompeolas.

Este tipo de ensayos, en México es relativamente nuevo comparado con los ensayos de agitación para estimar el oleaje dentro de un puerto, por tal motivo es importante obtener datos de los movimientos del barco al realizar experimentos en modelo hidráulico.

En el presente trabajo se mencionan también los métodos de utilización de los equipos de video para la grabación de los ensayos, el método de análisis, la discusión de resultados y las conclusiones obtenidas

Es importante hacer notar que el oleaje generado en los ensayos es regular ó monocromático; teniéndose planeada la realización de ensayos utilizando oleaje irregular en una segunda etapa.

C A P I T U L O 2
CONDICIONES OCEANOGRAFICAS

2. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

El análisis de las condiciones oceanográficas imperantes en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich., fué realizado con base en la información de que pudo disponerse y que básicamente fué la siguiente:

Para oleajes:

Normal wave and tide conditions and storm wind, tide, and wave characteristics: approximatitly 17°33' N, 102°10" W, 82 foot mean lower low wather depth, offshore Lázaro Cárdenas, México, A.H. Gleen and Associates, 1979

Análisis Estadístico de Condiciones Oceanográficas y Meteorológicas que afectan a la zona de Petacalco, Gro. Comisión Federal de Electricidad, diciembre de 1983, Información proporcionada por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
Cartas del Sea and Swell, Oficina Hidrográfica de los Estados Unidos de Norteamérica.

Observaciones de oleaje en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. MC Ingeniería de Diseño, S.C., Dirección General de Obras Marítimas, 1981.

Observaciones Oceanográficas en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Consultores en Ingeniería Fluviomarítima, S.A. Dirección General de Obras Marítimas, 1984

Para corrientes:

Mediciones de corrientes en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich., MC Ingeniería de Diseño, S.C., Dirección General de Obras Marítimas, 1981

Mareas:

Tablas de Predicción de Mareas, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

Vientos:

Análisis de condiciones físicas para el desarrollo de una terminal en mar abierto para descarga de mineral de carbón a granel en Petacalco, Gro. MICARE. 1984

2.1 Oleajes

Dadas las condiciones de ubicación del sitio, se procedió a hacer una discriminación de los diferentes tipos de información con que se contaba, ya que básicamente la información proporcionada por NOAA y el Sea and Swell cubre una importante zona oceanográfica en la cual se presentan oleajes de todas direcciones con oleajes generados localmente y distante, como lo muestran las tablas 2.1 y 2.2 respectivamente.

Tabla 2.1 CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LAZARU CARDENAS, MICH.
OLEAJE LOCAL
ALTURA Y DIRECCION (%)

ALTIMERA EN PIES DIRECCION	0.15-0.25	0.26-1.25	1.26-2.25	2.26-3.25	3.26-4.25	4.26-6.25	6.26-8.25	8.26-10.25	10.26-12.25	12.26-15.25	TOTAL
sinon	0.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.98
45-90 NE	0.73	2.52	0.22	0.06	0.02	-	0.02	-	-	-	3.57
85-120 E	1.48	4.99	1.38	0.34	0.17	0.04	-	0.04	-	-	8.44
125-160 SE	1.85	3.91	0.95	0.22	0.14	0.14	-	0.02	-	0.02	7.23
175-210 S	1.08	2.73	0.43	0.11	0.06	-	-	-	-	-	5.01
205-240 SW	1.48	1.17	0.43	0.17	-	-	0.04	-	-	-	5.24
245-280 W	1.74	14.04	1.57	0.19	0.04	-	0.02	-	-	-	19.60
285-320 NW	4.71	20.71	2.80	4.08	0.06	0.04	-	-	-	-	32.40
325-360 N	1.05	7.91	0.49	0.04	0.02	-	-	-	-	-	11.52
Total	25.10	59.93	8.27	5.21	1.11	0.22	0.08	0.06	-	0.02	100.0
Acumulado	25.10	85.03	93.30	98.51	99.62	99.84	99.92	99.98	99.98	100.0	100.0

FUENTE: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

Tabla 2.2 CARACTERISTICAS DEL OLEAJE EN LAZARO CárDENAS, MICH.
OLEAJE DISTANTE
ALTURA Y DIRECCION (X)

ALTURA EN PIES DIRECCION	0.0-0.25	0.26-1.25	1.26-2.25	2.26-3.25	3.26-4.25	4.26-5.25	5.26-6.25	TOTAL
Calma	7.97							7.97
45-64 SE	-	0.38	0.37	0.15	-	-	-	1.10
85-124 E	0.80	1.97	1.67	0.45	0.27	0.15	0.11	5.42
125-164 SE	0.04	0.80	6.76	1.36	0.27	0.10	0.40	9.73
165-204 S	0.04	17.54	4.25	1.17	0.30	0.18	-	23.48
205-244 SW	0.08	4.02	3.45	1.29	0.34	0.19	-	9.37
235-284 W	0.11	6.00	6.33	1.10	0.15	0.08	-	13.77
285-324 NW	0.08	13.60	7.20	0.68	0.08	0.08	-	21.72
325-044 N	1.23	4.00	1.89	0.15	0.17	-	-	7.44
Total	10.35	48.31	37.12	6.35	1.58	0.78	0.51	100.0
Total acumulado	10.35	58.66	90.78	97.13	98.71	99.49	100.0	

FUENTE: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

El trabajo de A.H. Gleen y Asociados, presenta una predicción de oleajes para un punto situado frente al Puerto de Lázaro Cárdenas y consecuentemente incluye igualmente oleajes en todas las direcciones de la Rosa de los Vientos.

TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE EN LAZARO CARDENAS, NICH

DIRECCION \ ALTURA (PIES)	0-1.9	2-3.9	4-5.9	6-7.9	8-9.9	10-15	15- +	TOTAL
	N	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NE	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
E	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
SE	3.7	7.9	4.7	2.2	0.7	0.3	0.1	19.6
S	1.6	3.9	2.6	1.3	0.4	0.2	0.0	10.0
SW	9.1	6.5	3.8	1.6	0.6	0.2	0.0	15.8
W	11.3	21.4	11.2	4.4	1.3	0.4	0.0	50.0
NW	1.2	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
Total	22.4	41.1	22.8	9.3	3.0	1.1	0.1	100.0
Total acumulado	22.4	63.5	86.3	95.6	98.8	99.9	100.0	100.0

FUENTE: (A.H. GLEEN y ASOCIADOS)

La tabla 2.3 muestra los resultados de la distribución del oleaje en donde se procedió a analizar de las observaciones tomadas localmente, las direcciones de incidencia del oleaje para la zona del acceso al puerto, ya que dichas observaciones fueron tomadas en diferentes sitios, requiriéndose determinar en nuestro caso la dirección del oleaje que se presentaría frente a la entrada del puerto.

Al analizar el trabajo realizado por CIFSA y compararlo con A.H. Gleen y Asociados se observó que difieren estos en cuanto a su dirección, debido a la ubicación del sitio de observaciones, sin embargo al correlacionarlos con la zona de acceso, tienen una correspondencia muy semejante; como lo muestran las tablas 2.4, 2.5 y 2.6

TABLA 2.4 OBSERVACIONES DE OLEAJE EN LAZARO CORDERAS, MICH
(Frente a la desembocadura de Barras)

Aljura (m)		DIRECCION							
		0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3.0	3-3.5	TOTAL
Enero	S	23.26	9.83	0.87	0.06	0.02	-	-	34.04
	SW	45.0	18.98	1.78	0.18	0.02	-	-	65.96
Febrero	S	10.76	6.12	1.14	0.16	0.02	0.01	-	38.21
	SW	49.79	9.91	1.82	0.23	0.02	0.2	-	62.79
Marzo	S	19.56	1.80	2.32	0.35	0.12	0.04	-	44.19
	SW	50.16	2.16	2.94	0.47	0.04	0.04	-	55.81
Abril	S	16.32	22.94	5.91	0.67	0.14	0.14	0.10	46.21
	SW	19.00	26.74	6.83	0.80	0.20	0.14	0.08	53.79
Mayo	S	1.94	14.17	15.75	3.90	3.15	1.58	-	44.49
	SW	5.90	18.50	18.90	6.49	3.94	1.58	-	55.51
Promedio acumulado	S	56.75	26.23	11.65	3.10	1.54	0.71	0.04	100.00
	SW	56.73	82.96	94.61	97.71	99.25	99.96	100.00	100.00

FUENTE: CIFSA, Sept. 1984

TABLA 2.5 OBSERVACIONES DE OLEAJE EN LAZARO CORDERAS, MICH.

PERIGUIN (cm/s)		DIRECCION									
		4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20	
Enero	S	2.47	3.27	5.93	8.18	7.70	3.60	1.56	0.63	0.18	
	SW	4.78	7.27	11.51	15.88	14.93	7.01	3.04	1.21	0.32	
Febrero	S	5.07	5.19	5.96	8.14	7.30	4.26	1.56	0.39	0.31	
	SW	8.19	8.39	9.65	13.17	11.85	6.92	2.53	0.62	0.48	
Marzo	S	3.61	2.75	4.47	6.59	10.67	0.03	3.73	1.53	1.80	
	SW	4.55	3.49	5.69	8.32	13.42	11.46	4.67	1.93	2.23	
Abril	S	1.86	3.23	3.15	8.42	12.56	9.34	4.03	1.08	0.51	
	SW	2.11	3.72	6.03	9.80	14.66	10.90	4.89	1.33	0.60	
Mayo	S	1.47	3.15	3.94	5.12	9.05	9.84	7.67	2.75	0.79	
	SW	2.76	3.54	4.73	7.48	9.45	13.38	10.24	3.15	0.79	
Promedio	S	7.48	8.90	12.62	18.22	22.32	17.15	8.79	2.91	1.61	
	SW	7.48	8.90	12.62	18.22	22.32	17.15	8.79	2.91	1.61	

FUENTE: CIFSA-SCT, Sept. 1984

TABLA 2.6 LAZARO CARDENAS, NICH
PATRON DE OLEAJES PROPUESTO EN EL ACCESO AL PUERTO

DIRECCION \ ALTURA (m)	ALTURA (m)								TOTAL
	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2	2.2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	
SUR	44.0	15.0	6.0	2.0	0.6	0.2	0.2	-	68.0
SURESTE	18.0	8.0	4.0	1.0	0.5	0.2	0.2	0.1	32.0
TOTAL	62.0	23.0	10.0	3.0	1.1	0.4	0.4	0.1	100.0
ACUMULADO	62.0	85.0	95.0	98.0	99.1	99.5	99.9	100.0	-

FUENTE: CIFSA

La Compañía MC Ingeniería de Diseño, S.C. efectuó también mediciones de oleaje, las cuales se realizaron desde el faro.

TABLA 2.7 OBSERVACIONES DE OLEAJE EN LAZARO CARDENAS, NICH.
(frente al faro)

DIRECCION \ ALTURA (m)	ALTURA (m)										TOTAL
	0.0a 0.3	0.3a 0.7	0.8a 1.1	1.1a 1.5	1.5a 1.9	1.9a 2.3	2.3a 2.7	2.7a 3.1	3.1a 3.5	3.5 6	
Febrero SE	0.52	44.61	20.10	1.04	0.93	3.41	3.41	-	-	-	74.11
SW	0.18	15.59	7.04	0.36	0.34	1.19	1.19	-	-	-	25.89
Marzo SE	0.07	43.77	15.87	5.60	0.92	-	2.76	-	1.84	-	70.83
SW	0.03	18.03	6.53	2.30	0.36	-	1.14	-	0.76	-	29.17
Junio SE	-	-	24.19	7.84	12.37	6.80	5.02	3.37	1.66	-	61.25
SW	-	-	15.31	4.96	7.83	6.30	3.18	2.13	1.04	-	38.75
Julio SE	-	0.47	10.35	9.26	9.45	8.09	6.72	1.13	1.13	0.42	47.02
SW	-	0.53	11.66	10.44	10.65	9.11	7.58	1.27	1.27	0.47	52.98
Promedio	0.20	30.75	27.78	10.45	10.73	8.22	7.75	1.98	1.92	0.22	100.00
Acumulado	0.20	30.95	58.73	69.18	79.91	88.13	95.88	97.86	99.78	100.00	

FUENTE: M.C. Ingeniería de Diseño, S.C.-S.C.T. 1981

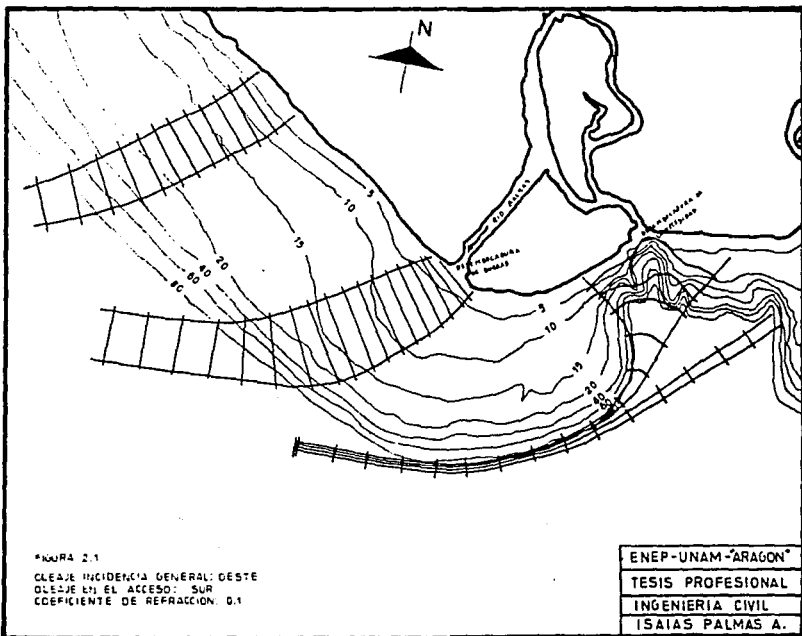
La tabla 2.7 muestra los resultados del oleaje, en donde se en encuentran coincidencias en cuanto al porcentaje de incidencia, con respecto a lo realizado por CIFSA; pero no en cuanto a la dirección, ya que MC reporta incidencias del 70% o mayores pa ra la dirección Sureste y del orden del 30% para la dirección Suroeste.

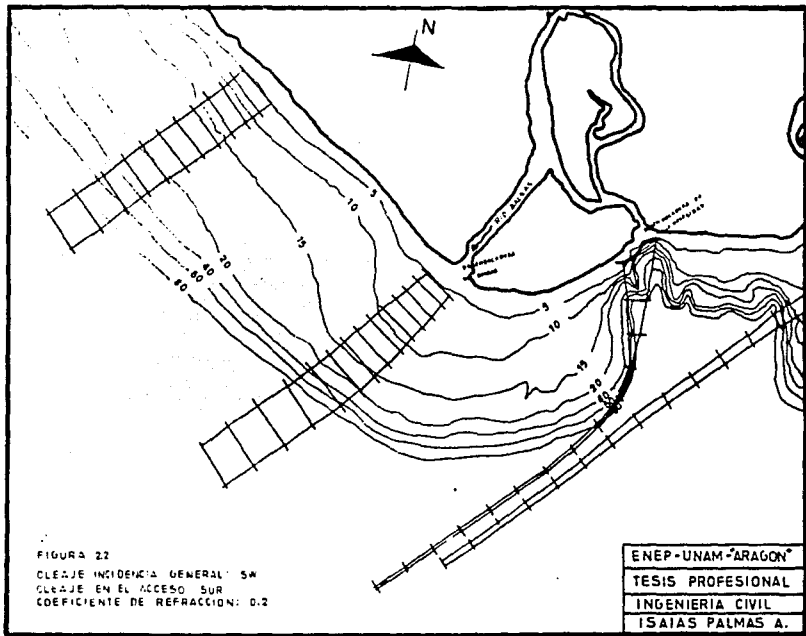
Los oleajes medidos localmente reportan por otra parte alturas hasta de 3.5 (m) como máximo, con porcentajes del 80% menores de 2 (m) y períodos más frecuentes comprendidos entre los 8 y 16 seg.

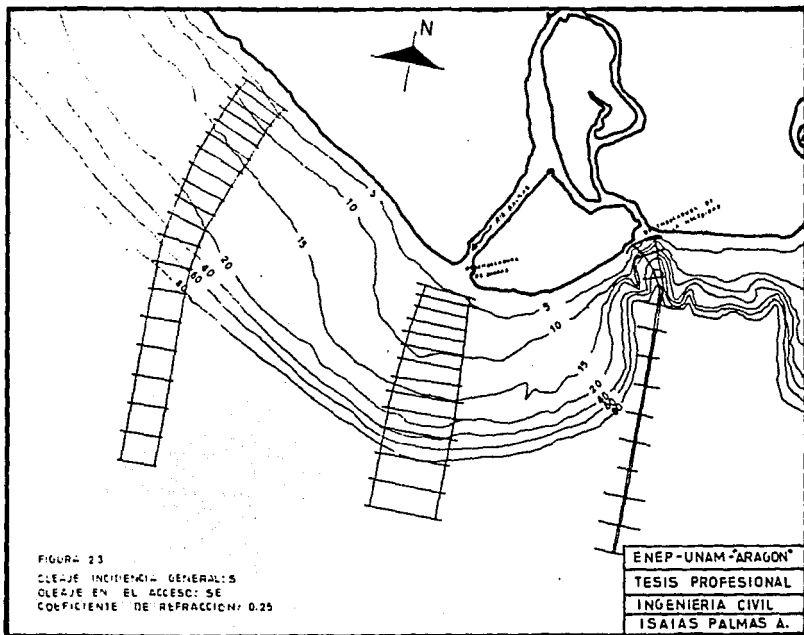
De la información de tipo estadístico pudo concluirse una distribución de oleajes fundamentalmente del 2º y 3er. cuadrante de acuerdo con los siguientes valores:

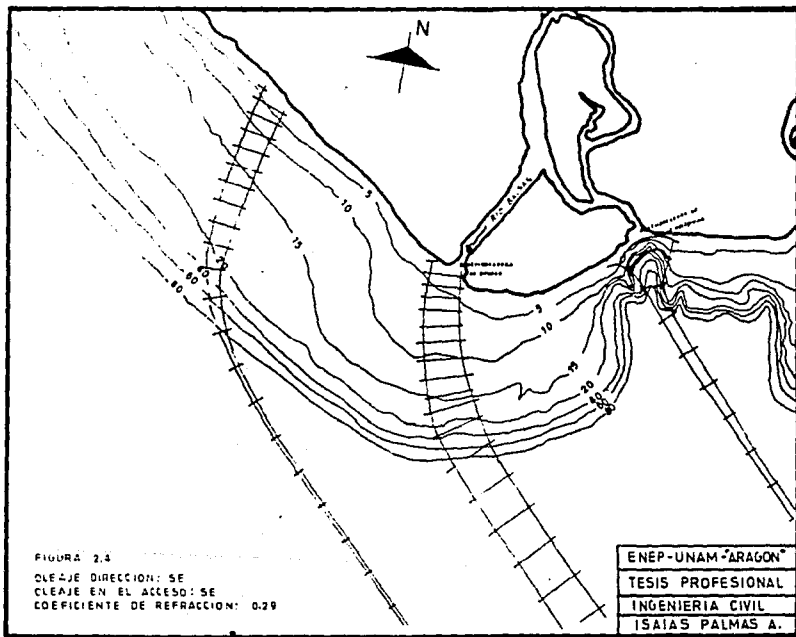
Oeste	52 %
Suroeste	16 %
Sur	10 %
Sureste	22 %

Dichas direcciones son todavía de tipo general en la zona y no toman en cuenta el efecto de la refracción, lo que hace que finalmente los oleajes del Oeste o Suroeste se presenten frente al acceso al puerto con una dirección Sur. Los oleajes del Sur y Sureste llegan frente a la Boca de la Necesidad con una dirección franca Sureste, resultando las direcciones Sur y Sureste con un porcentaje de incidencia de 68 % para la dirección Sur y 32 % para la dirección Sureste, como lo muestran las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4









2.2 Corrientes

De las observaciones de corrientes realizadas por MC Ingeniería de Diseño, S.C. para la Dirección General de Obras Marítimas frente a la zona pudo concluirse que las mayores velocidades observadas tuvieron velocidades del orden de 40 cm/seg. notándose una cierta influencia de la desembocadura del río en el sentido de que la tendencia general de las corrientes fue hacia mar abierto, por lo que se considera que la condición más desfavorable que pueda preverse para el atraque de las embarcaciones serán las velocidades que pueden generarse dentro del propio cauce del río.

2.3 Mareas

Las mareas frente al Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. son de tipo mixto semidiurno con dos desigualdades, amplitudes máximas del orden de 70 cm. la mayor y medias de 40 cm. habiéndose establecido los siguientes niveles de referencia con respecto al nivel de bajamar media inferior:

Pleamar máxima registrada	1.199 m.
Nivel de Pleamar medio superior	0.534 m.
Nivel de Pleamar media	0.478 m.
Nivel medio del mar	0.277 m.
Nivel de Bajamar media	0.097 m.
Nivel de Bajamar media inferior	0.000 m
Bajamar mínima registrada	- 0.447 m.

2.4 Vientos

En la zona han existido diferentes estaciones meteorológicas que permiten definir las características de los vientos que se presentan en cada una de las estaciones establecidas, considerándose para el caso en estudio que los datos representativos de las condiciones imperantes para el atracadero de carbón, son los que se obtuvieron de la Estación de Lázaro Cárdenas (anteriormente Melchor Ocampo), operado por el Servicio Meteorológico Nacional (SARH)

TABLA 2.8 VIENTOS IMPERANTES EN LAZARO CARDENAS, MICH.
DIRECCION %. INTENSIDAD ESCALA BEAUFORT

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO ANUAL
Norte % I	7.7 1.0	15.4 1.5	16.7 1.0	18.2 1.0	14.3 1.0	28.6 1.2	13.3 2.0	25.0 1.7	13.3 2.0	6.7 2.0	13.3 1.5	13.2 1.0	15.5 1.4
Noroeste % I							6.7 2.0						0.6 2.0
Suroeste % I	7.7 2.0	15.4 2.0	8.3 2.0	18.2 1.5	7.1 2.0	- v	20.0 1.7	12.5 1.5	6.7 2.0	20.0 1.0	20.0 1.7	6.7 2.0	11.9 1.8
Sur % I	23.1 1.3	23.1 1.7	32.3 1.5	27.2 1.7	35.7 1.2	28.6 1.2	13.3 1.5	25.0 1.2	20 1.3	26.7 1.2	26.7 1.0	26.7 1.2	25.8 1.3
Suroeste % I	23.1 1.3	23.1 1.2	25.1 2.0	18.2 2.0	28.6 1.5	28.6 2.0	6.7 1.5	12.5 2.0	33.3 1.2	13.3 1.6	- -	26.7 1.5	19.9 1.6
Oeste % I							13.3 1.5	6.2 1.0					1.6 1.2
RV % I	38.4 1.4	25.0 1.7	16.7 1.5	18.2 1.5	14.3 1.5	14.2 1.5	26.7 2.0	18.7 1.5	26.7 1.3	13.3 1.0	40.0 1.2	26.7 1.5	24.7 1.5

FUENTE: MICARE, Análisis de Condiciones Eléctricas en Petatlaco, Gro. Junio 1984

La Tabla 2.8 muestra el registro de los vientos que actúan en el Puerto, donde se deduce que los vientos más frecuentes (25.8 %) provienen del Sur (Reinantes) y tienen una velocidad media de 7 (km/h), los de mayor intensidad, son los del sureste (dominantes) con una velocidad media de 10 (km/h) con un 11.9 % de incidencia.

Adicionalmente a los vientos normales, en la zona se presentan vientos ciclónicos o huracanados con velocidades del orden de 150 (km/h), condiciones éstas extremas en las cuales no puede operar el puerto, mismo que normalmente es cerrado a la navegación durante el lapso en que se presenta el ciclón y cuya dirección puede ser de 24 a 48 horas.

En términos generales se puede estimar que en promedio dos veces al año, durante 48 horas, el Puerto no puede operar por efecto de ciclones y que bajo estas condiciones no se deberán considerar maniobras de embarcaciones.

2.5 Conclusiones

De la información recabada y de los análisis realizados, se puede concluir que los oleajes más desfavorables provienen del Sur y Sureste con porcentajes de incidencia de 68 a 32 % respectivamente, con alturas máximas de 2 a 4 metros y periodos de 8 a 16 segundos.

Las corrientes que más afectan son las que se presentan en el cauce del río por efecto de las desviaciones del caudal que se haga por este brazo y que podrá ser como máximo del orden de 1(m/seg) Por lo que respecta a los vientos, se estima que los que influyen significativamente en el atraque a las embarcaciones son los de origen ciclónico, pero dado que en esas condiciones no se realizan operaciones, no se consideró este efecto para las maniobras de atraque de las embarcaciones.

C A P I T U L O 3
PROYECTO DE PLANEACION
DEL PUERTO

3. PROYECTO DE PLANEACION DEL PUERTO

Los criterios a los que debe apegarse la planeación de un puerto industrial, son en gran medida determinados por las exigencias de las industrias que se instalarán en el puerto mismo. Las industrias, según la actividad que cada una desarrolla, necesitan en diferente medida de áreas, accesos por mar y por tierra, agua, combustible y energía eléctrica; las cuales aprovechan la cercanía de otras industrias a las que están conectadas sus ciclos de producción, como son: muelles, patios ferroviarios, bodegas, grúas, etc.

Otro elemento que juega un papel importante en la planeación del área portuaria es el grado de desarrollo que sea necesario asignar al sector comercial del puerto mismo. Este sector sirve, tanto a las industrias ubicadas en el área portuaria como a los mercados industriales del interior del país. Los que están asentados localmente emplean el sector comercial ya sea, porque no disponen de acceso directo al mar con muelle propio, o bien, porque aún teniéndolo mueven carga por medio de barcos para usos múltiples.

La extensión del sector comercial depende del número de industrias manufactureras que se localizan en el sitio y de la importancia del área del interior del país que puede generar tráfico para el puerto (Hinterland)

Por lo anteriormente descrito, para determinar las características marítimas del puerto como son, la profundidad, ancho de canales y dársenas y las áreas para el movimiento de la carga; se estimó necesario hacer una panorámica de la evolución tecnológica para los barcos y para las operaciones portuarias.

Para la planeación del puerto de Lázaro Cárdenas fué necesario como primer paso, efectuar una recopilación de los diferentes tipos de industrias que estuvieran interesadas de instalarse en él, analizando en detalle aquellos aspectos y exigencias que el puerto debería satisfacer, como dotación de áreas, servicios y accesos por mar y tierra.

Las industrias, en base a los requerimientos de áreas, de accesos marítimos y terrestres y a la cantidad de carga movida; se clasifican en las siguientes tres categorías:

A.- Son las industrias que necesitan frente de mar con muelles propios, conexión directa al ferrocarril con ramal, además de un acceso carretero. Pueden ser: acerías, planta de aluminio, fábrica papelera, planta petroquímica compleja, refinería, terminal costera de productos refinados, fábrica de aleaciones de hierro, de fertilizantes. Todo esto pensando en que el puerto tuviese un gran auge industrial y comercial en un futuro.

La planta carbonífera (MICARE) se clasifica dentro de la categoría A, ya que contará con muelle propio y frente de mar.

B.- Al igual que la categoría A; ésta se clasifica en futuro y son las industrias que no requieren muelle propio, pero para las cuales la presencia de una terminal de usos múltiples y de las industrias tipo A constituye un elemento determinante para su desarrollo; como son: talleres de estructuras, fundidoras, industrias metalúrgicas, fábricas de níquel y cobre puro, planta de cemento, industrias químicas en general e industrias alimenticias.

C.- Son los asentos industriales que no necesitan estrictamente de la presencia del puerto, pero que aprovechan de los beneficios indirectos debidos a la presencia del puerto mismo, puesto que esto facilita la creación de diferentes infraestructuras y de otros asentos industriales a los que puedan conectarse sus procesos productivos. Pueden ser: industrias químicas, farmacéuticas, cosméticos, manufactureras, mecánicas, eléctricas y alimenticias.

Otros sectores importantes en la planeación de un puerto son:

(1) Sectores portuarios de usos múltiples: Este sector tiene un gran desarrollo debido a la magnitud del área industrial y a la importancia del área del interior que gravita sobre el puerto.

Mueve carga general en contenedores y en bultos, carga a gra

La figura 3.1 muestra la realización física del proyecto de planeación del puerto de Lázaro Cárdenas; en donde se encuentran localizadas industrias como: SICARTSA, FERTIMEX, PEMEX y CONASUPO, con sus muelles respectivos, además de oficinas operativas. El lugar en donde se proyecta la instalación de la Terminal Carbonífera con su respectivo muelle es; en la margen izquierda del canal de acceso al puerto, que actualmente tiene una profundidad de 14 mts. para recibir embarcaciones de hasta 60,000 T.P.M. (toneladas de peso muerto).

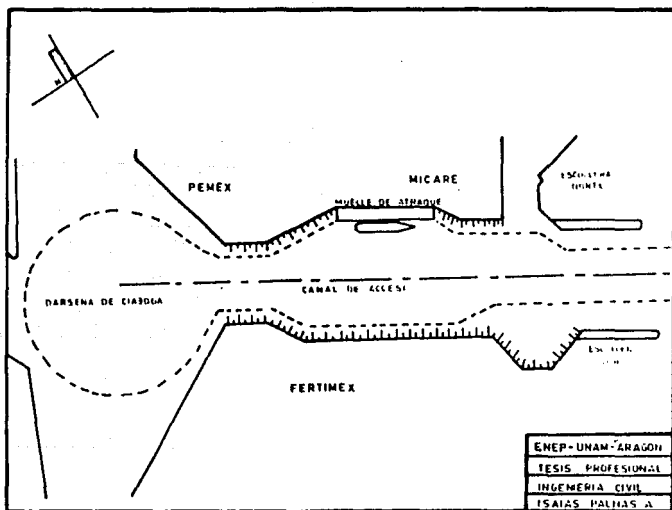


FIG. 3.2 Ubicación de la Terminal Carbonífera

La figura 3.2 muestra la localización de la Terminal Carbonífera, la cual se encuentra en la Isla del Cayacal junto a las instalaciones de PEMEX y frente a FERTIMEX.

Las características de las obras existentes en el puerto, como son: Obras de protección, áreas de agua, señalamiento marítimo, obras de atraque y áreas de almacenamiento se describen en las Tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 respectivamente.

TABLA 3.1 OBRAS DE PROTECCION

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	AÑO DE CONSTRUCCION	LONGITUD (m)	ANCHO DE CORONA(m)	ALTURA DE CORONA (m)	MATERIAL	PLANTILLA (m)
Escollera Sur	Margen derecha canal de acceso	1972-1975	290	6	4.70	Piedra Concreto y Morto de piedra.	50
Escollera Norte	Margen izquierda Canal de acceso	1973-1976	310	5	5.34	Piedra Morto piedra	40
Espigón de Burros	A 3,000 m de la margen derecha del canal de acceso	1974-1978	280	6	4.95	Piedra, Concreto	50
Espigones de protección playera	13 espigones a 250 m en la Isla de Enmedio.	1977-1981	75 c/u	4		Piedra y Morto	
Espigones de protección playera	Isla Cayacal 7 espigones a cada 200 m.	1977-1981	65 c/u	4		Piedra y Morto	
Bordes marginales de protección	En Isla del Cayacal e Isla de Enmedio	1981-1982	Cayacal 3050 e I. Enmedio 830			Piedra	

TABLA 3.2 AREAS DE AGUA

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	DIMENSIONES (m)	ANCHO DE PLANTILLA(m)	PROFUND DAD(m)	AREA	MAXIMO DE CIABDGA (m)
Canal de acceso	al E de la dársena	Long. 1.400	150	-12.50		
Bocana	Desembocadura del Rio Balsas			-14		
Fondeadero	Fuera del Puerto en mar abierto			-27	356ha	
Dársena	Entre la Isla de Cabezas, Canal y el Muelle de maderas y metales			-14.5	32ha	600
Canal N.º 2 de navegación secundaria	Dársena de aguas saladas hasta el muelle de Prosa	107 hombres de talud. 720 dársena Codo de canal 7200	60	7	42,000m ²	
Canal Industrial de Navegación Secundaria	Zona Industrial	204 hombres de talud. 1200 dársenas	120	14	144,000m ²	
Canal Industrial Norte	Zona Industrial	242 hombres de talud. 722 dársenas	170	12	110,500m ²	600
Canal Puerto Pasquero	Lado Norte Canal de Acceso	132 hombres de talud. 480 canal de acceso y dársena	90	7	43,200m ²	200
Dársena Centro de Capacitación	Al SW de la dársena principal. Frente al Centro de capacitación			7.50	30,000m ²	

TABLA 3.3 SEÑALAMIENTO MARITIMO

CONCEPTO	UBICACION	TIPO DE SEÑAL	PERIODO	ALCANTARILLADO	COLOR DE LA SEÑAL	ALTIMETRIA DE LA SEÑAL	ALTIMETRIA DEL FONDO	ALTIMETRIA DEL FONDO	ALTIMETRIA DEL FONDO	ALTIMETRIA DEL FONDO	MATERIA QUE CONSTITUYE LA ESTRUCTURA	COLOR DE LA ESTRUCTURA
Faro	Al Oeste del extremo de la escollera Sst. Geog. 17°45' N. 102°12' W	Faro Destellante	20"	3	Blanco	40	17	18	Corriente comercial	250	Concreto	Blanco con franjas rojas
Boya canal de acceso	Canal de acceso	Boya Destellante	1"	20	Rojo	2	3	4.5	Cargador solar	155		Rojo
Boya canal de acceso	Canal de acceso	Boya Destellante	1"	20	Verde	2	3	4	Cargador solar	155		Verde
Boya de fondeo		Boya Destellante	1"	20	Blanca	2.10	3	4		300		Verde
Boya de pro frente al pórtico especial	Alto Horno segunda etapa	Boya Destellante	1"	20	Asher	2.10	3	4	Cargador solar	155	Acero	Rojo
Boya de recalada	Fondeada a 2 millas aproximadamente de las escolleras. Sst. Geog. 17°45' N. 102°12' W	Recalada Destellante	1"	7	Blanco	1.22	3	4	Cargador solar	100	Hierro	Franjas verticales rojas y blancas
Boya de recalada	a 2 millas de la escollera Sst. Geog. 17°45' N. 102°12' W	Destellante	1"	20	Blanco	1.22	3	4	Cargador solar	100	Placa de acero 1/4"	Rojc y blanco

TABLA 3.4 SEÑALAMIENTO MARITIMO

CODIGO DESCRIPCION	LOCALIZACION	TIPO DE SEÑAL	TIPO DE LUZ	PERIODO	N° DESTALLOS	COLOR DE LA SEÑAL	ALTURA DE SEÑAL (M)	ALCANCE GEOMARAFICO (M)	ALCANCE AUMINOSCOMUN	FUENTE ENERGIA	OPICA (M)	MATERIAL DE ESTRUCTURA	COLOR DE ESTRUCTURA
Baliza Escollera Norte	En el Morro de la escollera	Situación	Destellante	5'	1	Rojo	8	8	10	Cargador solar	300	Concreto	
Baliza Escollera Sur	En el Morro de la escollera	Situación	Destellante	5'	1	Verde	8	10		Cargador solar	300	Concreto	
Baliza enfitección anterior	Sit. geog. 17° 56' N 102° 11' W	Enfilación	Destellante	1'	20	Bianco	15	5	12	Cargador solar	240	Metel	
Baliza de enfitección posterior	Sit. geog. 17° 56' N	Enfilación	Destellante	1	30	Bianco	5	5	14	Cargador solar	240	Metel	Galvanizado
Baliza Cayacal	Sit. geog. 17° 56' 44" N 102° 10' 19" W	Situación	Destellante	1	20	Bianco	7.30		2	Cargador solar	155	Aluminio	Aluminio
Baliza Fertiver	Sit. geog. 17° 55' 25" N 102° 10' 51" W	Enfilación	Destellante	1	20	Verde	7.30		20	Cargador solar	155	Aluminio	Aluminio

TABLA 3.5 OBRAS DE ATRAQUE

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	AÑO CONSTRUCCION	PROP. EDIFICACION	ANCHO DE ESTRUCTURA (m)	DISPOSICION	LONGITUD ESTRUCTURA (m)	BANDEAS ATRAQUE	LONGITUD TOTAL ATRAQUE (m)	ALTURA CUBIERTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES	ENTRADA QUE OPERA	MOVIMIENTO PRINCIPAL	USO	SERVICIO
Muelle de carga general	Al SW de la bahía principal en la T.C.M.	1978-79	Federal	36.50	Marginal	506	1	506	+ 3.15	-13	Concreto armado	Operación y Desembarco Puerto	Altura	General	Agua potable, electricidad, iluminación, etc.
Muelle de metales y Materiales	Al Oeste de la dársena	1973-76	Federal	25.50	Marginal	702	1	650	+ 4	-14	Muro milano y cubierta	SICARTSA	Altura	Reservorio	Agua fría de abastecimiento, iluminación, etc. Buque de defensa y bitas.
Muelle Prosan	Margen de Roca del Río Balanzal N. de la dársena	1976	Federal	3 plataformas 2 acceso	en "T"	49 plataformas y 7 acceso	-1	55		2	Concreto armado	Armeda de México (SM)	Local		Agua, luz, sanitario, defensas y bitas.
Muelle pesquero	En el Puerto pesquero en la Isla de Cayacal	1982	Federal	31	Marginal	160	1	70		-7	Concreto armado		Local	Pescas	Bitas y defensas
Muelle de contenedores	Al Sur de la dársena	1981	Federal	36.5	Marginal	286	1	286	+3.15	-13	Concreto armado	Operación Puertos - ría	Altura	Contenedores	17 bitas de acero de gran peso

TABLA 3.6 OBRAS DE ATRAQUE

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	AÑO CONSTRUCCION (m)	PROPIEDAD	ANCHO ESTRUCTURA	C/SPECIFICACION	LONGITUD ESTRUCTURA (m)	BANDELA ATRAQUE	LONGITUD TOTAL ATRAQUE (m)	ALTURA CUBIERTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES	ENTIDAD QUE LO OPERA	MOVIMIENTO PRINCIPAL	USO	SERVICIO
Muelle de Fertimas	Sobre la dársena, anexo al muelle de contenedores	1979-81	Federal	25	Marítimal	528		497	3.80	-13	Concreto armado	FERTIMEX	Altura		Surto de buques pesqueros, abastecimiento, grúas.
Muelle del centro de capacidad de la Sección Marítima Portuario	Sobre el lado Oriente	1982-83	Federal	13 y 8	"T"	30 plaza de 10 pasarela	1	130	2.5	-7	Concreto armado	Fidetrocom de Escuelas Nauticas Mercantes			Agua potable, defensa eléctrica, combustible, diésel.
Muelle N° 2 para el muelle de granos	Canal industrial lado N. Terminal de granos de Conasupo	1980-83	Federal	14 pasarela y 110 plataforma	"T"	127.50 pasarela y 324 plataforma	2	528	4	-14 y -11	Concreto armado	Conasupo	Aún no se ha operado		19 buques de defensa, grúas de carga pesada y grúas y puentes.
Muelle N° 2 para el muelle de granos	Canal industrial lado Norte contiguo al N° 1	1980-83	Federal	30.50	Marítimal	150	1	150	4	-8	Concreto armado	Conasupo	Altura	Aún no se ha operado	Bases de defensa y artillería
Prolongación del muelle de carga general	A1 54 del muelle de carga general	1983	Federal	36.50	Marítimal	100	1	100	3.25	-12	Concreto armado	Superintendencia de Operación y Desarrollo portuario	Altura y cobertaje local		Por falta de defensa en operación.

30

TABLA 3.7 AREAS DE ALMACENAMIENTO

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	AÑO DE CONSTRUCCION	DIMENSIONES (m)	CARACTERISTICAS DE ESTRUCTURAS	PROPIEDAD	AREA UTIL (m ²)	MERCANCIA QUE ALMACENA	SERVICIOS	CAPACIDAD (m ³)	OPERADO POR:
Bodega de Consolidación	Terminal de Ucos Múltiples. Zona de consolidación.	1983 - 1985	160x32	Murca de tabique rojo, acero	Federal	5,120	Carga General (sin terminar)			Operación Portuario
Patio de Contenedores	Terminal de Ucos Múltiples (zona de consolidación)	1982 - 1983	330x336.37		Federal	55,510	Contenedores			Operación Portuario
Patio de Metales y Minerales	Muelle de Metales y Minerales	1978	95x38		Federal	36 10	Metales y Minerales			Operación y Desarrollo Portuario
Patio de Metales y Minerales	Muelle de Metales y Minerales	1975	540x38		Federal	20,520	Metales y Minerales			
Tanque Elevado	Terminal de Ucos múltiples	1980	24 diámetro y 43 altura	Concreto					20	

TABLA 3.8 AREAS DE ALMACENAMIENTO

CONCEPTO DESCRIPCION	LOCALIZACION	AÑO DE CONSTRUCCION	DIMENSIONES (m)	CARACTERISTICAS DE ESTRUCTURA	PROPIEDAD	AREA UTIL(m)	MERCANCIA QUE ALMACENA	SERVICIOS	CAPACIDAD	OPERADO POR:
Bodega de Tránsito	Zona comercial. Frente al muelle de carga general	1979	114x30	Estructura metálica, muros de block y cubierta de lámina sinter	Federal	1,420	Carga General	Luz y sanitarios Inconclusa		
Bodega de Tránsito	Zona Industrial en la Terminal de Granos, lado Sur de Silos	1981 - 1982	21x54	Metálica, muros de block, cubierta con lámina sinter	Federal	1,134		Luz y agua	3,570 m ³ no opera. Se usa como oficinas.	Conasupo
Silos para granos	Terminal de granos COA SUPO	1982 - 1984	92x36	Concreto armado	Federal		Granos	Sin servicios.	80,000 Tons. (en proceso)	Conasupo
Patio de Maniobras de Carga General	Atrás de Bodega de Tránsito (Terminal de Unas Múltiples)	1982 - 1983	300x40		Federal	11,000	Carga General	Sin servicios		Operación y Desarrollo Portuario
Bodega de Tránsito		1982 - 1985	150x30	Estructura metálica, muros de block y cubierta de lámina sinter en construcción						

C A P I T U L O 4
CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES
DEL MUELLE CARBONIFERO

4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL MUELLE CARBONIFERO

La finalidad de una planta acerera, es la de transformar el mineral hierro (Fe) extraído del subsuelo en un producto industrial que se utiliza en la construcción de diferentes obras (acero estructural); que de acuerdo al uso que estará destinado, adoptará diferentes formas en el mercado de venta (varillas de diferentes diámetros, alambrión, perfiles estructurales, etc.) los cuales junto con otros materiales constructivos forman los elementos estructurales que constituyen la obra en cuestión.

Para la fundición del acero, es necesario el carbón mineral como materia prima, razón por la cual se necesita una planta carbonífera para llevar a cabo este proceso. Esta planta se proyecta ubicar junto a las instalaciones de Pemex en la Isla del Cayacal.

La planta de MICARE contará con muelle propio que recibirá embarcaciones mineras, en donde atracarán para las maniobras de descarga del carbón.

4.1 Descripción del Muelle Carbonífero

En el plano anexo a este capítulo (figura 4.1) se especifican las características generales del muelle como son:

Largo: 3.40 (m)
Ancho: 30 (m)
Losa (peralte) 0.55 (m)

4.2 Características estructurales del Muelle

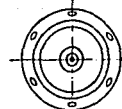
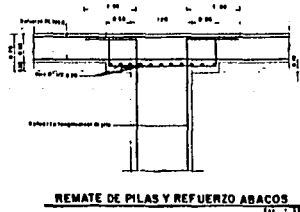
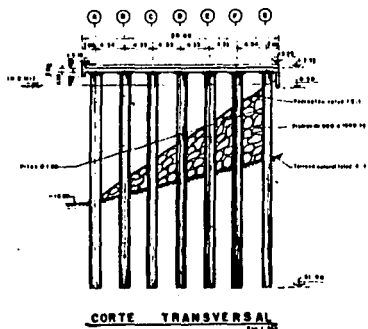
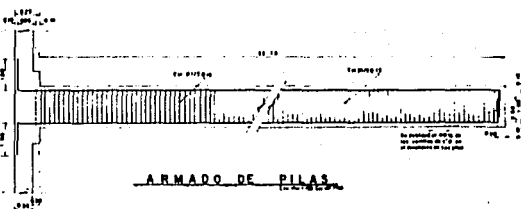
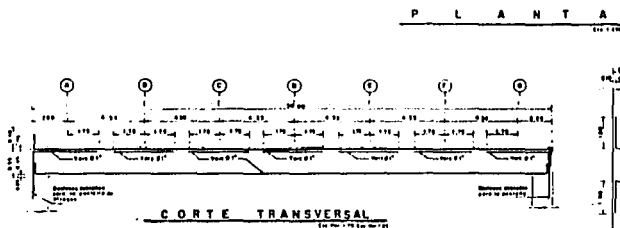
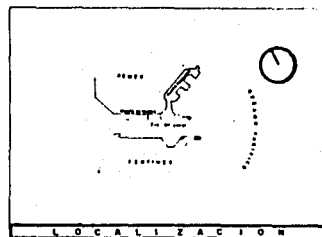
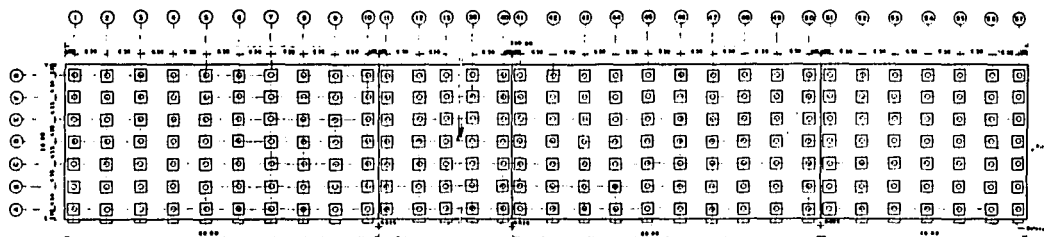
La figura 4.1 presenta la esquematización del muelle, con los detalles de la estructura; en donde la losa tiene un peralte de 0.55 m,

La cimentación es a base de pilas, las cuales tienen 1.20 m de diámetro y 32.78 m de largo y penetran hasta una profundidad de 31.0 m, la separación entre ambos en la parte corta del muelle

es de 4.33 m y en la parte larga de 6.30 m, el número total de pilas es de 378

El talud del terreno natural es de 4:1, el del pedraplén de 1.5:1, en donde las piedras tienen pesos comprendidos entre 500 y 1000 kilogramos. La resistencia de proyecto en el concreto de toda la estructura es de: $f'c=250 \text{ kg/m}^2$).

Debido a que el diseño estructural no es el objetivo del presente trabajo, no se profundiza más en este tema.



NOTAS:
 1) Sección simplificada de un elemento.
 2) Las dimensiones dadas son nominales.
 3) Los materiales de construcción son los establecidos en el Manual de Diseño.
 4) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 5) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 6) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 7) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 8) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 9) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.
 10) Los datos de diseño son los establecidos en el Manual de Diseño.

DATOS DE PROYECTO
 Nombre del Proyecto: ...
 Fecha: ...
 Escala: ...
 Autor: ...
 Revisor: ...
 Aprobado: ...

MATERIALES
 Acero: ...
 Cemento: ...
 Grava: ...
 Arena: ...
 Mortero: ...
 Hormigón: ...

ENEP-UNAM-ARAGON
 TESIS PROFESIONAL
 INGENIERIA CIVIL
 ISAIAS PALMAS A

Fig. 4.1 Muelle Carbonifero de MICARE

C A P I T U L O 5

DESARROLLO EXPERIMENTAL

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Componentes del movimiento de un barco.

Un barco atracado tiene seis componentes de movimiento, debido a la agitación que existe dentro del puerto. Es de gran importancia analizar detalladamente estos movimientos para determinar las horas de operación y maniobras de carga y descarga.

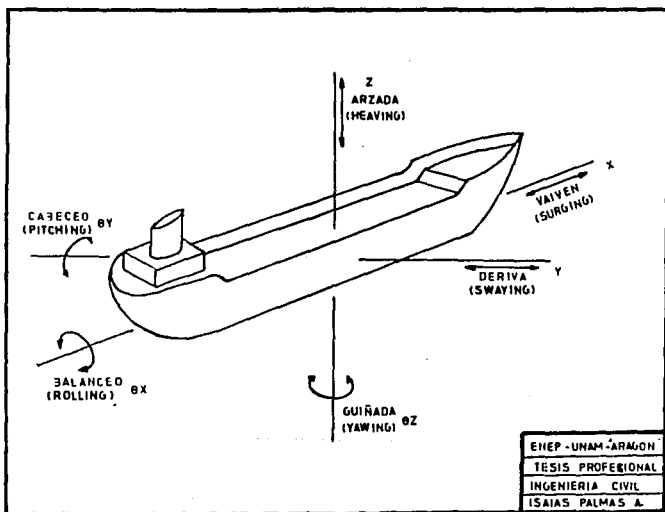


FIG. 5.1 Movimientos de un barco

En la figura 5.1 se muestran los movimientos que presenta un barco, inducidos estos por el movimiento constante del agua, en donde:

X, Y : son los ejes horizontales
 Z : el eje vertical

Vaiven (surging): Movimiento al eje X
 Deriva (swaying): Movimiento al eje Y
 Arzada (Heaving): Movimiento al eje Z
 Balanceo (Rolling): Rotación al eje X (θ_x)
 Cabeceo (pitching) Rotación al eje Y (θ_Y)
 Guiñada (Yawing) : Rotación al eje Z (θ_Z)

5.2 Instalaciones Experimentales

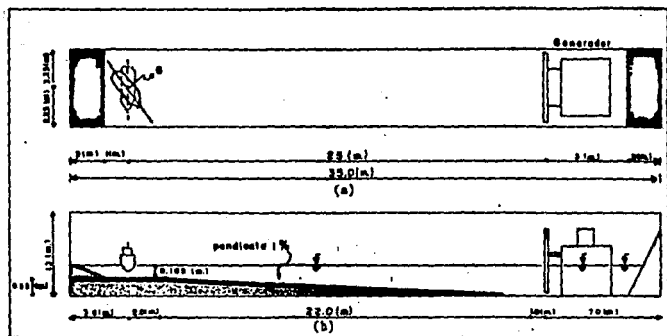


Fig. 5.2 Descripción de las características del canal

En la figura 5.2 se muestran las dimensiones del canal de experimentación con 35 m de longitud, 4.5 m de ancho y 1.3 de altura, posee además un generador de oleaje (regular e irregular), colocado a una distancia de 25 m del extremo contrario en donde se encuentra el barco y tiene una pendiente con valor de 1 %.

El barco se colocó en dos formas distintas: una perpendicularmente a la dirección del oleaje producido por el generador y la

otra en sentido oblicuo con respecto a una dirección de oleaje de 60°

En ambos extremos del canal se colocó un talud de piedras de diferentes diámetros para evitar la reflexión del oleaje durante los ensayos. La profundidad (H) para los experimentos fué de 16.5 cm en la zona de atraque de la embarcación.

Todo este equipo se encuentra instalado en el Laboratorio de Hidráulica Marítima de la Dirección General de Obras Marítimas, ubicado en San Juan Ixhuatepec, Edo. de México.

5.3 Modelo de barco y muelle

(1) Modelo de barco

Tabla 5.1 Características en prototipo y modelo del barco

Características	Prototipo	Modelo
Peso	49,000 ton	49 kg
Eslora	230 m	2.3 m
Manga	35 m	0.35 m
Puntal	20 m	0.20 m
Peso (media carga)	52,000 ton	52 kg
Peso (con carga)	81,000 ton	81 kg
Calado (media carga)	8.5 m	0.085 m
Calado (con carga)	13.5 m	0.135 m
C.G. (media carga)	12.4 m	0.124 m
C.G. (con carga)	10.3 m	0.103 m

La tabla 5.1 muestra las características y dimensiones del modelo de barco y su equivalente en prototipo. Este modelo representa en prototipo una embarcación minera de 60,000 T.P.M. (toneladas de peso muerto).

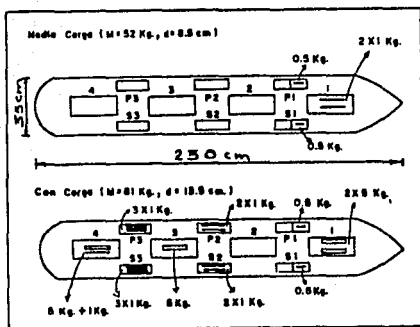


Fig. 5.3 Modelo de barco

En la figura 5.3 se describen las dimensiones del modelo y las condiciones de carga del experimento. En el primer caso la condición es de "Media carga" y el segundo "Con carga". El calado (d) varía dependiendo de la condición de carga; además se observa en la figura la distribución de los pesos para llegar a las condiciones de carga.

Debido a que contiene dentro un pequeño motor y una batería, el ensayo no se pudo efectuar en la condición de "barco sin carga", por lo tanto, el experimento se realizó en la condición de "media carga" y "con carga", que es la condición de "carga máxima".

El ajuste del calado de la condición de "media carga" se efectuó colocando algunos pesos en los compartimientos, de tal manera que la distancia de calado fuera constante en todos y cada uno de los puntos alrededor del barco.

Para la condición de media carga se colocaron pesos de 1 kg cada uno en el compartimiento número 1 y 2 pesos de 0.5 kg. cada uno en los compartimientos P₁ y S₂, por lo que en la condición de "media carga" la masa total (W_{mc}) fué de 52 kg y el calado obtenido fué de 8.5 cm.

En la condición de carga fué necesario colocar 32 kg de peso. La masa total en la condición "con carga" fué de 81 kg y el ca lado de 13.5 cm.

Para la obtención del Momento de Inercia y del centro de gravedad del modelo del barco se utilizaron 2 métodos: el Método Analítico y el método experimental, llegándose a los siguientes resultados:

a) Media Carga

Centro de Gravedad $Z_0 = 12.4$ cm.

Para Balanceo (Rolling) $I_b = 0.704$ kg.m².
 cabeceo (Pitching) $I_b = 19.118$ kg.m².

b) Con carga

Centro de Gravedad $Z_0 = 10.3$ cm

Para balanceo (Rolling) $I_b = 1.097$ kg.m².
 cabeceo (Pitching) $I_b = 25.660$ kg.m²

Ahora, como la longitud del barco (eslora), es mucho mayor que el ancho (manga) y la altura (puntal), se supone que el Momento de Inercia para el movimiento de Guiñada (Yawing) es igual al de cabeceo (Pitching).

(2) Modelo de muelle

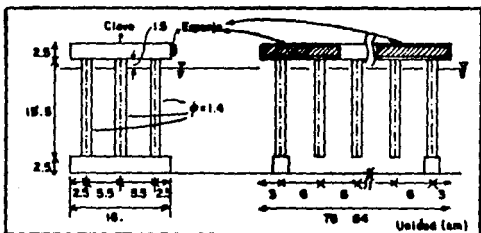


Fig. 5.4 Modelo de muelle

En la figura 5.4 se observa la similitud del modelo de muelle con la del prototipo, el cual tiene una cimentación a base de pilas.

Se construyó con madera y sus dimensiones son las siguientes: diámetro de pilas 1.4 cm, ancho de plataforma de 16 cm, espesor de plataforma de 2.5 cm y la altura de las pilas de 15.5 cm.

Para ajustar la profundidad de prueba del experimento que fué 16.5 cm, se colocaron debajo de las pilas unas barras de plomo de 2.5 cm de espesor. La distancia de una pila a otra con respecto a su parte central fué de 5.5 y 6 cm respectivamente.

El modelo de las defensas (esponja) se colocó en ambos extremos del muelle para evitar el volteo, además de unas barras de plomo encima de los muelles debido al empuje hidrostático y a la fuerza de impacto del barco.

5.4 Modelo del sistema de amarras

(1) Sistema de amarras en prototipo

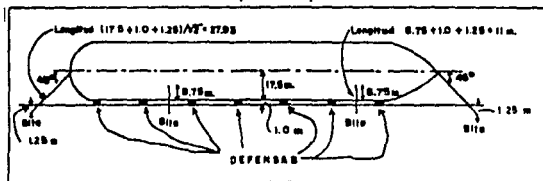


Fig. 5.5 Sistema de amarras en prototipo

La figura 5.5 muestra un esquema en planta del Muelle de la Terminal Carbonífera de MICARE, en donde se aprecia el sistema de amarras y de defensas en prototipo.

El barco estará atracado en el muelle, el cual presenta 7 defensas y 4 cuerdas como amarras, con una tensión máxima de 100 toneladas cada una. Estas amarras irán colocadas en diferentes posiciones; 2 colocadas transversales al barco (90°) y 2 en forma oblicua (45°). La longitud de las amarras transversales basado en los datos del plano correspondiente es de 11 m y la longitud de las amarras oblicuas es de 27.93 metros.

El coeficiente de elasticidad (K) para las amarras transversales es $R=11.64$ (ton/m) en prototipo, correspondiendo a $K=11.64$ gr/cm en modelo y el valor de (K) para las amarras oblicuas es $K=4.581$ ton/m en prototipo y en modelo a $K=4.581$ gr/cm.

(2) Restricción de amarre para el análisis del movimiento

Este serie de experimentos se efectuaron en 2 formas distintas: "Restricciones Simétricas" y "Restricciones Reales".

Las "Restricciones Simétricas" son una idealización del prototipo, debido a que las deformaciones que sufren las amarras expuestas a una fuerza de tensión son variables.

Las "Restricciones Reales" son representadas en forma similar al prototipo, pero también idealizado por la forma en que se colocan las amarras.

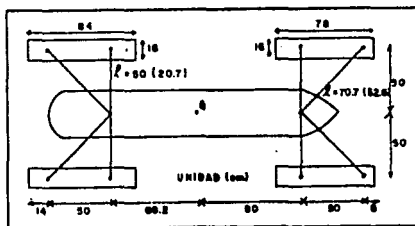


Fig. 5.6 Restricciones simétricas para medir el movimiento.

La figura 5.6 muestra la manera en que se coloca el modelo del barco para el experimento en "Restricciones Simétricas". Como es una idealización, el barco se coloca entre 2 pares de muelles, los cuales se diseñaron con los datos obtenidos del plano correspondiente.

Las amarras se colocaron con respecto al centro de gravedad del barco a una distancia de 80 cm. hacia la proa y a 69.2 cm. hacia

El coeficiente de elasticidad (K) para las amarras transversales es $R=11.64$ (ton/m) en prototipo, correspondiendo a $K=11.64$ gr/cm en modelo y el valor de (K) para las amarras oblicuas es $K=4.581$ ton/m en prototipo y en modelo a $K=4.581$ gr/cm.

(2) Restricción de amarre para el análisis del movimiento

Este serie de experimentos se efectuaron en 2 formas distintas: "Restricciones Simétricas" y "Restricciones Reales".

Las "Restricciones Simétricas" son una idealización del prototipo, debido a que las deformaciones que sufren las amarras expuestas a una fuerza de tensión son variables.

Las "Restricciones Reales" son representadas en forma similar al prototipo, pero también idealizado por la forma en que se colocan las amarras.

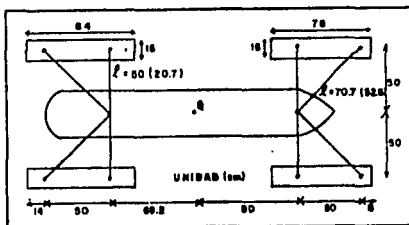


Fig. 5.6 Restricciones simétricas para medir el movimiento.

La figura 5.6 muestra la manera en que se coloca el modelo del barco para el experimento en "Restricciones Simétricas". Como es una idealización, el barco se coloca entre 2 pares de muelles, los cuales se diseñaron con los datos obtenidos del plano correspondiente.

Las amarras se colocaron con respecto al centro de gravedad del barco a una distancia de 80 cm. hacia la proa y a 69.2 cm. hacia

la popa.

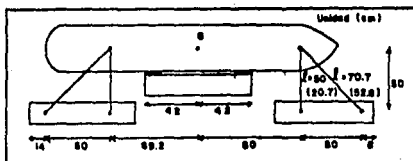


Fig. 5.7 Restricciones Reales

La figura 5.7 muestra la ubicación del barco similar a la del prototipo, colocando un par de muelles solamente. Además se colocó un tramo de muelle con los modelos de defensa, con el fin de evitar una condición de deformación diferente al inicio del ensayo en las amarras. Esto es para lograr una simetría en la deformación de ambas amarras.

5.5 Método experimental para la medición del movimiento del barco

(1) Sistema de video para la medición del movimiento del barco

Para el análisis de los movimientos de una embarcación cuando actúa el oleaje, se utiliza un sistema de video con circuito cerrado para apreciarlos debidamente, los cuales son muy rápidos y no se pueden observar a simple vista.

La figura 5.8 muestra el sistema de Video en circuito cerrado; el cual cuenta con: cámara fija de alta velocidad, Adaptador de corriente alterna (para cámara fija), Transformador de voltaje (127 volts a 100 volts), Adaptador STOP-WATCH, STOP-WATCH y VIDEO TIMER, Adaptador de corriente Alterna (para VIDEO-TIMER), Video-casetera y Monitor de Televisión.

Los números encerrados en un círculo indican cada uno de los aparatos del sistema al conectarlos y los números encerrados en un cuadro indican el cable a utilizar para su conexión.

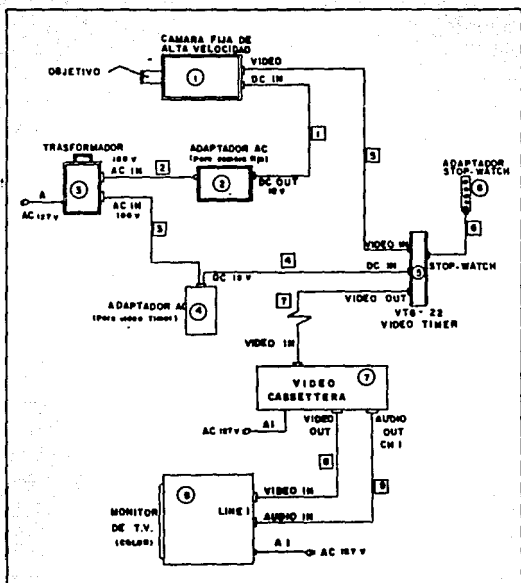


Fig. 5.8 Sistema de video para la medición de los movimientos.

Las letras A y A1 son los cables de alimentación de corriente alterna (AC-127V) para todo el circuito.

5.6 Método experimental

El método para la medición de los movimientos del barco es el siguiente: Primero se analizará en la condición sin amarras (sin oleaje), después en la condición con amarras (también sin oleaje) y por último se analizarán estos movimientos con oleaje.

(1) Período natural en la condición sin amarras

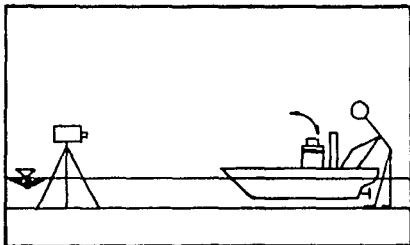


Fig. 5.9 Método del Experimento en la condición sin Amarras

La figura 5.9 muestra la forma de obtener el período natural en la condición sin amarras. Primero se coloca la cámara y el modelo de barco en el canal ancho de modo que ésta tome el barco de frente; una persona se colocará detrás del barco dando un desplazamiento de balanceo y soltándolo cuando inicie la filmación. La filmación será durante 5 períodos aproximadamente.

Hay otros 2 movimientos: arzada y cabeceo, los cuales no se pueden observar con este método, ya que su cociente de disminución es muy alto y tomar la medición de estos movimientos durante un período es imposible.

El período natural de balanceo en ambas condiciones (media carga y con carga) es aproximadamente 1.3 seg. por eso el intervalo de medición de desplazamiento del punto de referencia está entre 0.1 y 0.2 seg para poder graficar el movimiento.

En la figura 5.10 se observa el punto de referencia para analizar el movimiento de balanceo. El ángulo de desviación se obtiene; midiendo el desplazamiento horizontal, el cual se divide entre la distancia vertical del centro de gravedad (G) al punto de referencia (Po).

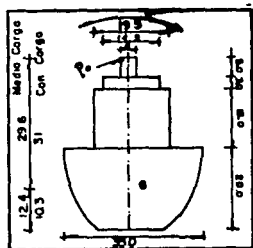


Fig. 5.10 Punto de Referencia para el Análisis

(2) Período natural en la Condición con Amarras

Los ensayos en este experimento para obtener el período natural y el cociente de disminución se llevaron a cabo amarrando el barco y sin generar oleaje. La posición de la cámara será cuatro metros arriba del modelo de barco, el cual se ubicará en el canal en Restricciones Simétricas como lo indica la figura 5.6, tomando la vista superior.

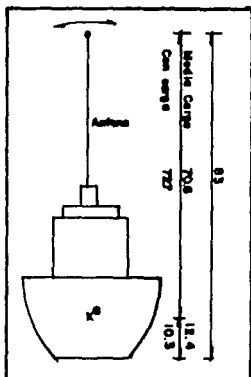


Fig. 5.11 Punto de Referencia de Balanceo

Una persona dará al barco un desplazamiento de: balanceo, vaiven, deriva y guiñada, en los que se medirá el período natural y el coeficiente de disminución.

La figura 5.11 muestra el punto de referencia de Balanceo; el cual será la parte superior de la antena, en donde se mide su desplazamiento horizontal. El ángulo de desviación es la relación que se obtiene de dividir el desplazamiento horizontal entre la distancia vertical que se mide desde el centro de gravedad (G) al punto de referencia y es la siguiente:

Media Carga	1 cm	→	1/70.6 (rad)
Con Carga	1 cm	→	1/72.7 (rad)

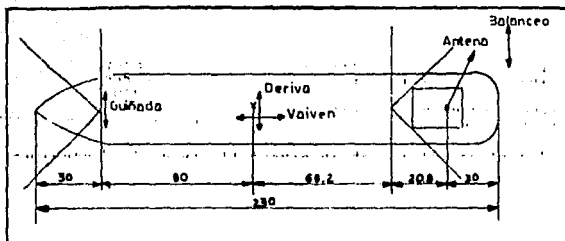


Fig. 5.12 Puntos de Referencia para Guiñada, Deriva, Vaiven y Balanceo

La figura 5.12 muestra los puntos de referencia de Guiñada, Deriva y vaiven. Estos movimientos están relacionados entre sí, por lo que, al hacer la suposición de que un solo movimiento actúa en el barco es errónea, pero el error de esa suposición será pequeño si se cuida el primer desplazamiento en el movimiento, por ejemplo el movimiento de balanceo tiene efecto de deriva y guiñada; para disminuir este efecto se tiene que cuidar el primer desplazamiento de balanceo, de manera que se tenga poco movimiento de deriva y guiñada que afectan el movimiento horizontal de la antena, además que los períodos natura

les de deriva y guiñada son muy largos con respecto al período natural de balanceo como se verá en los resultados.

Para los movimientos de deriva y vaiven se toma como punto de referencia el punto que está por arriba del centro de gravedad y para guiñada se toma la argolla de amarre del frente del barco.

En el movimiento de deriva se ignora el efecto de balanceo por la diferencia de 8 a 10 cm que existe en el punto de referencia y el centro de gravedad. Para el movimiento de vaiven se ignora el efecto de cabeceo y para el movimiento de guiñada se ignoran los efectos de deriva y balanceo.

Para los movimientos de deriva y vaiven la medición es directa, es decir, 1 cm de desplazamiento es igual a 1 cm de deriva ó vaiven.

En el movimiento de guiñada la medición se hace con la siguiente relación:

1 cm corresponde a $1/80$ radianes

(3) Movimiento del Barco con Oleaje Regular

Esta parte del experimento es la más importante ya que el barco estará expuesto al oleaje dentro del puerto. Se analizarán 3 movimientos: Balanceo, Cabeceo y Arzada debido a que el período del oleaje actuante puede coincidir con los períodos naturales de dichos movimientos y porque la diferencia en las alturas de ola no afectan mucho a estos movimientos comparándolos con Guiñada, Vaiven y Deriva* (según Reporte Técnico N°.6).

- a) Balanceo: Para la medición del movimiento de Balanceo, el punto de referencia será la punta de la antena (Ver figura 5.11) en la cual se mide su desplazamiento horizontal y el ángulo de desviación.

* Reporte Técnico del Laboratorio de Hidráulica Marítima, S.C.T.

b) Arzada y Cabeceo.

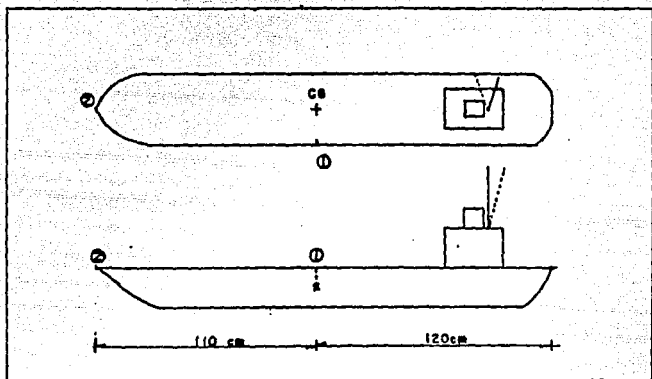


Fig. 5.13 Puntos de Referencia para la Medición de Arzada y Cabeceo

La figura 5.13 muestra los puntos de referencia para la medición de los movimientos de Arzada y Cabeceo.

Para el movimiento de Arzada se toma como referencia el punto (1); la cámara se colocará a 4 m. de distancia del modelo de barco, filmando la parte longitudinal enfocando el punto de referencia.

Con respecto al movimiento de Cabeceo, los puntos de referencia son (1) y (2). Al igual que en el movimiento de Arzada las tomas son de la misma forma, solo que ahora se enfocan los puntos mencionados.

Para el movimiento de Arzada la medición es directa, es decir, 1 cm de desplazamiento es igual a 1 cm de Arzada.

En el movimiento de Cabeceo, la medición se hace tomando en cuenta la diferencia de desplazamiento (δ) entre los 2 puntos de referencia, obteniéndose la relación siguiente:

(0) corresponde a $\delta/110$ radianes

(4) Ensayos realizados

La Tabla 5.2 muestra los ensayos realizados con oleaje regular. Se ensayaron 30 casos para diferentes condiciones como son: carga, dirección de oleaje, tipo de movimiento, período de oleaje y amarras.

Las condiciones de carga fueron "Media Carga" y "Con Carga", se consideraron 2 direcciones de oleaje, (90' y 60' grados), los movimientos analizados fueron 3 (Balanceo, Arzada y Cabeceo). Los períodos de oleaje se consideraron los cercanos y/o similares al período natural de cada movimiento para comprobar la existencia del fenómeno de resonancia. Las condiciones de amarre fueron con restricciones simétricas.

5.7 Medición y análisis del oleaje

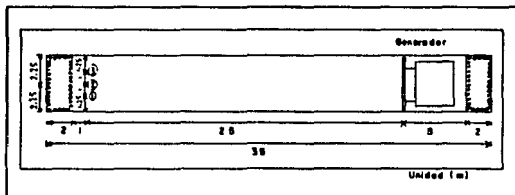


Fig. 5.14 Colocación de los sensores del Ológrafo.

La figura 5.14 muestra la ubicación de los sensores, los cuales están conectados a un Ológrafo.

El ológrafo transmite los datos recibidos de los sensores hacia un registrador de pluma, en donde se grafican en papel milimétrico, para obtener de allí la altura de ola en el canal.

Los sensores se colocarán en la zona donde estará el barco expuesto al oleaje. El primer sensor (1) se colocó a 1 m del centro de gravedad hacia la proa, el segundo (2) en el centro de

Tabla 5.2 Ensayos realizados

Nº. de Caso	Condición de Carga	Dirección de Oleaje	Tipo de Movimiento	T (seg) Modelo
1	M	90º	B	0,8
2	M	90º	B	1.0
3	M	90º	B	1.3
4	M	90º	B	1.6
5	M	90º	B	2.0
6	M	90º	A	0.5
7	M	90º	A	0.65
8	M	90º	A	0.8
9	M	90º	A	1.0
10	M	90º	A	1.3
11	M	90º	C	0.5
12	M	90º	C	0.65
13	M	90º	C	0.8
14	M	90º	C	1.0
15	M	90º	C	1.3
16	C	90º	A	0.8
17	C	90º	A	1.0
18	C	90º	A	1.3
19	C	90º	C	0.5
20	C	90º	C	0.65
21	C	90º	C	0.8
22	M	60º	B	1.0
23	M	60º	B	1.3
24	M	60º	B	1.6
25	M	60º	A	0.65
26	M	60º	A	0.8
27	M	60º	A	1.0
28	M	60º	C	0.5
29	M	60º	C	0.65
30	M	60º	C	0.8

Nomenclatura
M: Media Carga
C: Con Carga
B: Balanceo
A: Arzada
C: Cabeceo
T: Período de Oleaje en segundos

gravedad del barco y el tercero (3) a 1 m del centro de gravedad hacia la popa. Por lo tanto, la distancia que existe entre la paleta del generador y la ubicación de los sensores es la misma que la del barco y la paleta.

(1) Alturas y períodos del oleaje

Los valores de las alturas y períodos de ola que se utilizaron en esta serie de ensayos, son los que actúan en la realidad transformados a la escala correspondiente.

Se estima que para oleaje normal, el valor máximo de altura de ola (significante) que se presenta en el Puerto de Lázaro Cárdenas es de 1.5 m, por lo que los demás oleajes que se presentan no exceden este valor. Entonces, como se tiene un valor máximo de altura de ola de 1.5 m, para los ensayos se utiliza el valor de altura de ola de entrada (Hent) igual a 1.5 m. en prototipo (1.5 cm en modelo).

En caso de presentarse un ciclón, entonces las alturas de ola excederán el valor máximo, pero para esa situación el estudio ya no procede, porque las embarcaciones no son amarradas en el momento del fenómeno meteorológico.

Para el experimento con oleaje regular es importante obtener las características del movimiento contra el período del oleaje que se presente. En ensayos preliminares se obtuvo que, el período de resonancia para Balanceo (Rolling) en el barco de prueba es igual a 1.3 seg; por lo que los ensayos se realizaron con los siguientes 7 períodos: 0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6 y 2.0 segundos.

(2) Calibración del oleaje experimental

La calibración del oleaje consiste en obtener la altura y el período de ola deseados. Primeramente se debe definir el tiempo necesario para su estabilización en el canal.

Tabla 5.3 Tiempo necesario para Estabilizar el Oleaje

T (seg)	t (seg)
0.5	70
0.65	65
0.8	45
1.0	35
1.3	30
1.6	25
2.0	25

La tabla 5.3 muestra el resultado del experimento para obtener el tiempo de estabilización del oleaje (cuando el oleaje generado sea uniforme en los puntos deseados) para los periodos experimentales mencionados anteriormente.

La gráfica que se obtiene en el registrador de pluma representa el tiempo de generación y la altura del oleaje, en donde se aprecia un rango de inestabilidad para después hacerse estable. La medición de rango inestable será el tiempo de estabilización medido en el papel. Esta medición se hace a partir de iniciado el movimiento de la paleta (inicio de generación del oleaje), hasta el rango estable (esto es, cuando el registro del oleaje es uniforme).

Estos resultados determinan el tiempo de inicio del análisis de los movimientos para las grabaciones con el circuito cerrado.

La tabla 5.4 muestra los resultados de la medición de la altura de ola. De los datos obtenidos en los tres sensores se obtiene un promedio total, observando que la diferencia es pequeña entre los tres sensores, lo que indica que existe uniformidad de oleaje en el canal en los puntos de interés.

Tabla 5.4 Resultados de la Medición de la Altura de Ola

T (seg)	H (cm) entrada	H (cm) medida			Promedio
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	
0.5	4.0	0.88	1.62	1.60	1.37
	5.0	2.01	2.52	2.16	2.24
	3.0	0.97	1.12	1.05	1.05
0.65	4.0	1.46	1.74	1.93	1.71
	2.0	1.10	1.17	1.38	1.20
	2.5	0.83	0.84	0.97	0.88
0.8	2.5	1.10	1.15	1.10	1.12
	3.0	1.44	1.74	1.46	1.55
	2.0	0.83	0.66	0.77	0.75
1.0	3.0	1.44	1.74	1.46	1.55
	2.0	0.83	0.92	0.83	0.86
	2.5	1.10	1.29	1.10	1.16
1.3	2.5	1.88	1.96	1.71	1.85
	2.0	1.38	1.40	1.27	1.35
	1.5	0.83	0.92	0.83	0.86
1.6	2.0	1.38	1.40	1.38	1.39
	1.5	0.91	0.90	0.88	0.90
	2.5	1.71	1.71	1.66	1.69
2.0	2.0	1.66	1.74	1.71	1.70
	1.5	1.10	1.12	1.21	1.14
	1.0	0.66	0.59	0.77	0.67
Promedio		1.21	1.34	1.29	

La medición de la altura de ola se realizó para los 7 períodos mencionados anteriormente, obteniéndose un promedio en la altura de ola de salida medida por los 3 sensores para diferentes alturas de ola de entrada.

Al graficar los resultados de la tabla 5.4 se obtiene la figura 5.15; en donde el eje horizontal representa la altura de ola de entrada (H_{ent}) y en el eje vertical, la altura de ola medida (H_{med}), que es la altura de ola de salida.

La razón por la que se grafican los resultados, es con el fin de obtener un valor de H_{ent} para cada período que corresponda a una H_{med} igual a 1.5 m, que es la altura de ola significativa ($H_{1/3}$)

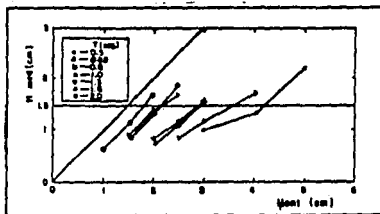


Fig. 5.15 Relación entre la Altura de Ola de Entrada (Hent) y la Altura de Ola Medida (Hmed) con Oleaje Regular (Modelo)

que se presenta en el sitio de estudio.

La manera de obtener los valores de Hent es entrando a la gráfica con el dato de altura de oleaje significativa, presentada y en la intersección de la recta de cada período se baja hasta el eje horizontal; en donde se encuentra el valor de la altura de ola de entrada (Hent).

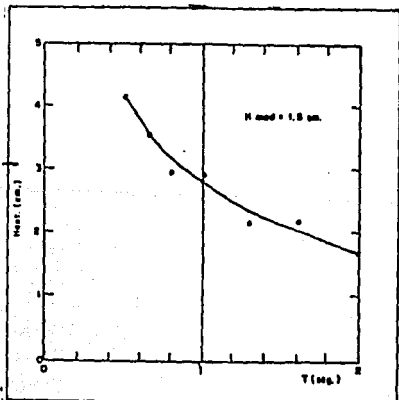


Fig. 5.16 Relación entre el Período (T) y la Altura de Ola de Entrada (Hent) en Modelo

La figura 5.16 es la representación gráfica de los valores de Hent obtenidos en la figura 5.15, en la cual se observa la relación existente entre Hent (cm) y el período T(seg), para la obtención de Hmed igual a 1.5 (cm).

Tabla 5.5 Resumen de la Calibración del Oleaje Regular.

T (seg)	H (cm)	Coefficiente
0.5	4.15	0.36
0.65	3.55	0.42
0.8	3.15	0.48
1.0	2.75	0.55
1.3	2.35	0.64
1.6	2.05	0.73
2.0	1.70	0.88

La Tabla 5.5 muestra los valores obtenidos de Hent para cada período; los cuales serán los datos de entrada a la computadora. El generador recibe la señal de la computadora para producir el oleaje de ensayo con las siguientes condiciones: altura de ola significativa ($H^{1/3}$) igual a 1.5 (cm) y los 7 períodos indicados.

El coeficiente mostrado en la Tabla representa la eficiencia del movimiento de la paleta del generador, obteniéndose con la relación siguiente:

$$\frac{H_{real}}{H_{ent}}$$

Donde:

H_{real}: Altura de ola significativa presentada en el sitio (1.5 cm)

H_{ent}: Altura de ola de entrada para cada período

C A P I T U L O 6

RESULTADOS

6. RESULTADOS

En este Capítulo se describen los resultados obtenidos en los ensayos realizados

6.1 Movimiento de Balanceo sin amarras y sin oleaje

(1) Media Carga

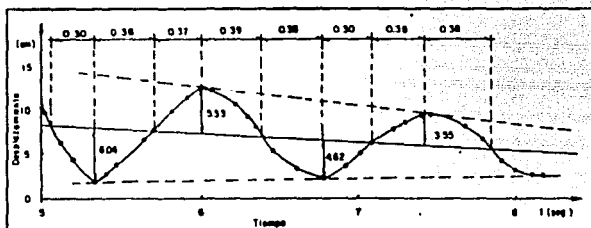


Fig. 6.1 Resultados de Balanceo en la condición de Media Carga

En la figura 6.1 se muestran los resultados obtenidos del análisis del movimiento de Balanceo; en donde el eje horizontal indica el tiempo (donde el tiempo cero no es importante, solo se representa como inicio, ya que el movimiento no es uniforme en el inicio de la generación de oleaje) y el eje vertical indica el desplazamiento horizontal (donde el cero no muestra la posición neutral, solo se utiliza como referencia). Los puntos graficados indican los datos medidos en la pantalla.

Para iniciar el análisis, se dibujó una curva uniendo los puntos medidos. Después se trazaron dos líneas con los puntos máximos y mínimos como referencia. De las dos líneas se obtiene una línea central.

La línea central obtenida sirve para obtener $1/4$ del período y la amplitud del movimiento. En la figura se aprecian los valores que corresponden a $1/4T_0$, de las cuales se obtiene un

promedio para obtener el periodo natural (T_0) de la siguiente forma:

$$T_0 = \frac{0.30+0.36+0.37+0.39+0.36+0.30+0.38+0.38}{8} \times 4 = 1.395 \text{ seg.}$$

El cociente de disminución durante un periodo (c), se obtiene con el promedio de las amplitudes obtenidas en la figura; como se muestra en la siguiente ecuación:

$$c = \left(\frac{4.62}{6.04} + \frac{3.55}{5.33} \right) \div 2 = 0.716$$

(2) Con Carga

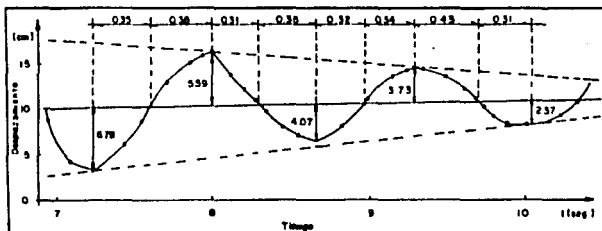


Fig. 6.2 Resultados de Balanceo en la Condición Con Carga

El análisis es semejante a la condición anterior, obteniéndose los siguientes resultados:

$$T_0 = 1.395 \text{ seg.}$$

$$c = 0.616$$

(3) Obtención del Momento de Inercia Adicional y de los coeficientes externos que actúan sobre el barco

a) Media Carga

El momento de Inercia calculado es:

$$I_0 = 0.704 \text{ kg}\cdot\text{m}^2.$$

El coeficiente K está dado en la siguiente ecuación, suponiendo que la sección es rectangular:

$$K = \rho g B L d \overline{GM}$$

Donde:

- ρ : Densidad del agua ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)
- g : Aceleración de la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)
- B : Manga (B = 0.35 m)
- L : Eslora (L=2.3 m)
- d : Calado (d = 0.085 m)
- \overline{GM} : Metacentro

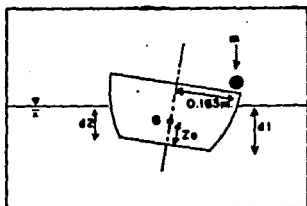


Fig. 6.3 Medición del Metacentro (\overline{GM}) y del Centro de Gravedad (Z_0)

La figura 6.3 muestra el método para medir el metacentro (\overline{GM}) y el Centro de Gravedad (Z_0); colocando un peso de masa (m) en kilogramos y midiendo la diferencia de calado en ambos extremos del barco, d_1 y d_2 .

El metacentro (\overline{GM}) está dado en la siguiente ecuación:

$$\overline{GM} = \frac{f m}{M b \theta}$$

Donde:

- f : Distancia horizontal entre el eje central del barco y el peso (0.163 m)
- m : Peso en kilogramos
- $M b$: Masa del barco (kg)
- θ : Angulo de rotación del barco ($\theta = \frac{d_1 - d_2}{0.95}$)
- ($d_1 - d_2$) : Diferencia de calado entre los dos lados

Si el Metacentro está dado; entonces se procede a calcular Z_0 , que es la distancia vertical entre el fondo del barco y el centro de gravedad del mismo como lo muestra la siguiente ecuación, suponiendo que el barco es un flotador rectangular:

$$Z_0 = \frac{(B/2)^2}{3d} + \frac{d}{2} - \overline{GM}$$

Donde:

B: Manga

d: Calado promedio

Z_0 : Distancia vertical entre el fondo y el centro de gravedad del barco

Tabla 6.1 Obtención de \overline{GM} y Z_0 para la condición de Media Carga

m (kg)	0.5	0.5	1.0	1.0
d_1 (m)	0.095	0.080	0.105	0.077
d_2 (m)	0.083	0.098	0.077	0.105
θ (rad)	0.0340	0.0514	0.0800	0.0800
\overline{GM} (m)	0.046	0.030	0.039	0.039
Z_0 (m)	0.117	0.133	0.124	0.124

La Tabla 6.1 muestra el proceso de cálculo para la obtención de \overline{GM} y Z_0 para la condición de Media Carga; midiendo primero d_1 y d_2 se obtiene θ y \overline{GM} y después se calcula Z_0 al sustituir todos los datos conocidos en la ecuación correspondiente.

Ahora, tomando el valor promedio de Z_0 y \overline{GM} de la tabla se obtiene:

$$Z_0 = \frac{0.117+0.133+0.124+0.124}{4} = 0.124 \text{ m} = 12.4 \text{ cm}$$

$$\overline{GM} = \frac{0.046+0.030+0.039+0.039}{4} = 0.0385 \text{ m} = 3.85 \text{ cm}$$

Pudiéndose calcular el valor de K de la siguiente manera:

$$K = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/seg}^2 \cdot 0.35 \text{ m} \cdot 2.3 \text{ m} \cdot 0.085 \text{ m} \\ 0.038 \text{ m} = 25.48 \text{ kg m}^2/\text{seg}^2$$

La relación entre el período natural (T_0) y el momento de inercia está dado en la siguiente ecuación:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{(I_0 + I_a)/K}$$

Despejando I_a resulta:

$$I_a = \frac{K T_0^2}{4\pi^2} - I_0$$

Y sustituyendo los datos se obtiene

$$I_a = \frac{25.40 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}^2 \cdot (1.395 \text{ seg})^2}{4\pi^2} - 0.704 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 = 0.552 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

En la siguiente ecuación está dado el coeficiente proporcional de la velocidad angular del barco (N_d):

$$N_d = \frac{2(I_0 + I_a)}{T_0} \ln\left(\frac{a_1}{a_2}\right)$$

Donde el cociente a_2/a_1 es el cociente de disminución durante un período y el valor está dado en el resultado del experimento ($c=0.716$) de la figura 6.1

Por lo que:

$$N_d = \frac{2(0.704 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 + 0.552 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)}{1.395 \text{ seg}} \ln\left(\frac{1}{0.716}\right) = 0.602 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}$$

b) Con Carga

De la misma forma que para Media Carga obtenemos el metacentro como sigue:

Tabla 6.2 Obtención de \overline{GM} y Z_0 para la condición Con Carga

m (kg)	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0
d_1 (m)	0.140	0.133	0.148	0.127	0.141	0.134	0.150	0.129
d_2 (m)	0.132	0.141	0.128	0.149	0.134	0.144	0.129	0.149
θ (rad)	0.0229	0.0229	0.0571	0.0629	0.0200	0.0286	0.0600	0.200
\overline{GM} (m)	0.044	0.044	0.035	0.032	0.050	0.035	0.034	0.050
Z_0 (m)	0.099	0.099	0.108	0.111	0.093	0.108	0.109	0.093

La tabla 6.2 muestra el proceso de cálculo para la obtención de \overline{GM} y Z_0 para la condición Con Carga. Los valores promedio resultan:

$$\overline{GM} = 0.0405 \text{ m} \approx 4.0 \text{ cm}$$

$$Z_0 = 0.103 \text{ m} \approx 10.3 \text{ cm}$$

$$I_0 = 1.097 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

y los coeficientes resultan:

$$K = 42.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{seg}^2$$

$$I_a = 1.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$N_d = 1.457 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{seg}^2$$

6.2 Movimientos del barco con amarras (Restricciones simétricas) y sin oleaje.

(1) Balanceo

a) Media Carga

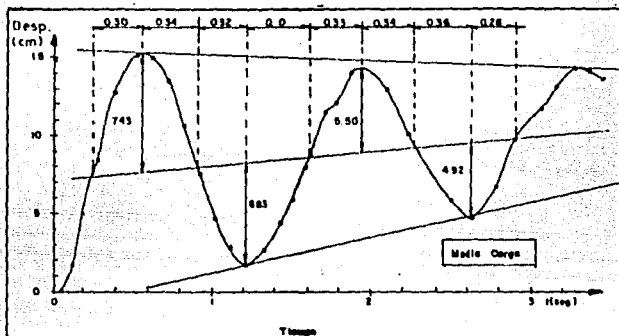


Fig. 6.4 Movimiento libre de Balanceo con Media Carga en Restricciones simétricas.

La figura 6.4 muestra el resultado del experimento, el análisis es igual al de las figuras 6.1 y 6.2. Los valores del período natural y el cociente de disminución para este caso son:

$$T_0 = \frac{0.30+0.34+0.32+0.40+0.33+0.34+0.36+0.28}{8} \times 4 = 1.335 \text{ seg}$$

$$C = \left(\frac{5.50}{7.73} + \frac{4.92}{6.83} \right) \div 2 = 0.716$$

Se observa que los valores del período (T_0) y del cociente (c) son parecidos a los obtenidos en la figura 6.1 ($T_0=1.395$ seg y $c=0.716$); lo cuál muestra que el movimiento de Balanceo no cambia con la presencia de las restricciones, porque el coeficiente K es muy pequeño comparado con el empuje hidrostático y el período natural de Balanceo en condición de Media Carga (cuyo valor está entre 1.3 y 1.4 seg. en el modelo correspondiendo a 13 y 14 seg en prototipo).

b) Con Carga

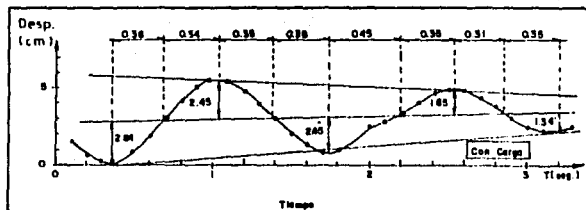


Fig. 6.5 Movimiento libre de Balanceo en Restricciones simétricas (Con Carga)

De la figura 6.5 se obtiene el período natural y el cociente de disminución en la condición Con Carga como sigue:

$$T_0 = \frac{0.36+0.34+0.35+0.35+0.45+0.35+0.31+0.35}{8} \times 4 = 1.430 \text{ seg}$$

$$C = \left(\frac{2.84}{2.84} + \frac{1.65}{2.45} + \frac{1.34}{2.45} \right) \div 3 = 0.689$$

c) Obtención del Momento de Inercia Adicional y de los Coeficientes externos que actúan sobre el barco para Media Carga.

Los valores de I_0 y K son los mismos que para la condición sin amarras y sin oleaje:

$$I_0 = 0.704 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$K = 25.48 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}^2$$

Suponiendo que las amarras no afectan sobre el coeficiente ya que la diferencia entre el centro de gravedad y el punto de amarra no es muy grande y si el coeficiente de la amarra es pequeño; entonces los valores de I_a y N_d son los siguientes:

$$I_a = \frac{K \cdot T^2}{4\pi^2} - I_o = 0.446 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$N_d = \frac{2(I_o + I_a)}{T_o} \cdot L \cdot n \frac{g}{a^2} = 0.575 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}$$

Estos valores comparados con los de la condición "sin amarras y sin oleaje" no tienen mucha diferencia; esto se debe a que los valores de T_o y C son muy parecidos, comprobando de esta forma que las restricciones (amarras) no afectan en el movimiento de Balanceo. Por lo que los valores de Balanceo en la condición de Media Carga, se obtienen como el promedio de los 2 experimentos como sigue:

$$T_o = \frac{1}{2} (1.395 + 1.335) = 1.365 \text{ seg}$$

$$C = \frac{1}{2} (0.716 + 0.716) = 0.716$$

$$I_o = 0.704 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_a = \frac{1}{2} (0.552 + 0.446) = 0.499 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$N_d = \frac{1}{2} (0.601 + 0.575) = 0.588 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}$$

$$K = 25.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}^2$$

d) Obtención del Momento de Inercia Adicional y de los Coeficientes Externos que actúan sobre el barco en la condición "Con Carga"

En forma similar a la condición de Media Carga se obtienen los valores como sigue:

$$I_o = 1.097 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$K = 42.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}^2$$

$$I_a = 1.054 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$N_d = 1.121 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{seg}$$

y tomando el valor promedio de los resultados en los 2 experimentos se obtiene:

$$T_0 = \frac{1}{2} (1.395 + 1.43) = 1.413 \text{ seg}$$

$$C = \frac{1}{2} (0.616 + 0.689) = 0.653$$

$$I_0 = 1.097 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$I_a = \frac{1}{2} (0.950 + 1.054) = 1.002 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$N_d = \frac{1}{2} (1.422 + 1.121) = 1.272 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}^2$$

$$K = 42.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}^2$$

Como los valores del periodo natural de Balanceo están entre 1.3 y 1.4 seg en modelo, los valores en el prototipo están entre 13 y 14 seg. Por lo que hay que tener cuidado ya que el oleaje que actúa en el puerto podría tener un periodo similar al periodo natural de Balanceo y entonces se presentaría el fenómeno de resonancia. Por esta causa se analiza primero este movimiento antes que los demás.

(2) Deriva

a) Media Carga

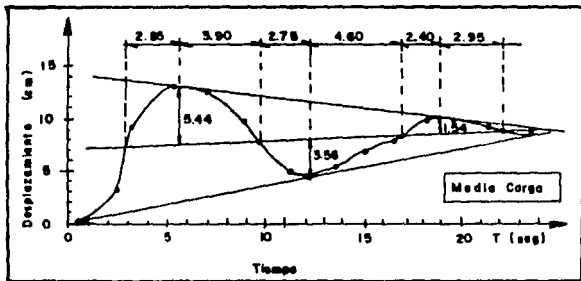


Fig. 6.6 Movimiento Libre de Deriva en Restricciones Simétricas (Media Carga)

La figura 6.6 muestra el resultado del movimiento de Deriva en la condición de Media Carga, de la cual se obtiene el periodo natural y el cociente de disminución como sigue:

$$T_0 = \frac{2.85 + 3.90 + 2.75 + 4.60 + 2.40 + 2.95}{6} \times 4 = 12.967 \text{ seg}$$

$$C = \left(\frac{1.54}{5.44} \right) = 0.283$$

b) Con Carga

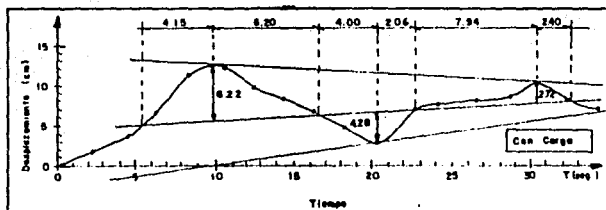


Fig. 6.7 Movimiento libre de Deriva en Restricciones Simétricas (Con Carga)

En la figura 6.7 se muestra el resultado del movimiento de Deriva en la condición Con Carga y de la misma forma se obtiene el periodo natural y el cociente de disminución:

$$T_0 = \frac{4.15 + 6.20 + 4.00 + 2.06 + 7.94 + 2.40}{6} \times 4 = 17.83 \text{ seg}$$

$$C = \frac{2.72}{6.22} = 0.437$$

c) Obtención de la Masa Adicional y de los Coeficientes para Media Carga

El valor de la masa del barco a Media Carga (m_0) medido anteriormente es:

$$\text{Media Carga } (m_0) = 52 \text{ kg}$$

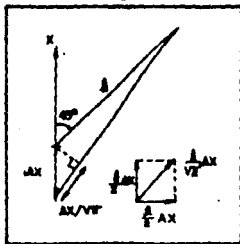


Fig. 6.8 Obtención de k de la amarra de 45°

La figura 6.8 indica la forma de obtener el coeficiente de restricción (k) cuando la amarra sufre un desplazamiento a la dirección x , donde el coeficiente de la amarra k está dado cuando ésta no sufre desplazamiento.

La dirección de la amarra está a 45° del eje x y se supone que hay un desplazamiento Δx a la dirección x . Entonces, como la figura muestra, la extensión de la amarra está dada como:

$$\Delta x / \sqrt{2}$$

por eso, la tensión de la cuerda es:

$$\frac{k}{\sqrt{2}} \Delta x$$

Entonces, la tensión al eje x es:

$$\left(\frac{k}{\sqrt{2}} \Delta x \right) / \sqrt{2} = \frac{k}{2} \Delta x$$

por lo que el coeficiente de restricción (k) de la amarra desplazada es igual a:

$$\frac{k}{2}$$

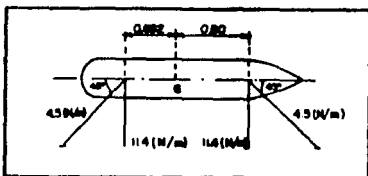


Fig. 6.9 Restricciones del barco

La figura 6.9 muestra las restricciones del barco en el experimento. Las amarras se indican de un solo lado ya que las del otro lado no trabajan a compresión; entonces el análisis solo se hará en las amarras que trabajan a tensión

Para evitar confusión en las unidades de k , en la figura se indica en N/m utilizando la siguiente relación:

$$\text{gf/cm} = 0.98 \text{ N/m}$$

Por eso, como el valor de la amarra vertical es de 11.64 gf/cm tendrá un valor de 11.40 N/m. Igualmente para la amarra a 45° con un valor de 4.58 gf/cm corresponderá a 4.50 N/m. De las figuras 6.8 y 6.9 se obtiene el valor de k para el movimiento de Deriva como sigue:

$$k = \frac{4.5}{2} + 11.4 + 11.4 + \frac{4.5}{2} = 27.3 \text{ N/m}$$

Entonces, los valores de m_0 y n_0 son:

$$m_0 = \frac{k \cdot T_0}{4 \pi^2} - m_0 = \frac{27.3 \cdot 12.967^2}{4 \pi^2} - 52 = 64.27 \text{ kg}$$

$$n_0 = \frac{2(m_0 + m_0)}{T_0} \ln\left(\frac{1}{c}\right) = \frac{2(52 + 64.27)}{12.967} \ln\left(\frac{1}{0.285}\right)$$

$$n_0 = 22.637 \text{ kg/seg}$$

d) Obtención de la Masa Adicional y de los coeficientes en la condición Con Carga.

El coeficiente de restricción es el mismo para las dos condiciones de carga; entonces los datos son:

$$A = 27.3 \text{ N / m}$$

$$T_0 = 17.83 \text{ seg}$$

$$m_0 = 81 \text{ kg}$$

Por lo que m_a y n_d se calculan como sigue:

$$m_a = \frac{27.3 \cdot 17.83^2}{4\pi^2} - 81 = 138.84 \text{ kg}$$

$$n_d = \frac{2(81+138.84)}{17.83} \ln\left(\frac{1}{0.437}\right) = 20.414 \text{ kg/seg}$$

La figura 6.6 y 6.7 muestran que el período natural de Deriva es de 12.9 y 17.8 seg respectivamente en el modelo; correspondiendo a más de 100 seg en el prototipo. Entonces, el oleaje que atacará al barco tendrá mucho menos período que el período natural de Deriva y por lo consiguiente el fenómeno de resonancia no se presentará en el movimiento de Deriva por efecto del oleaje.

(3) Vaiven

a) Media Carga

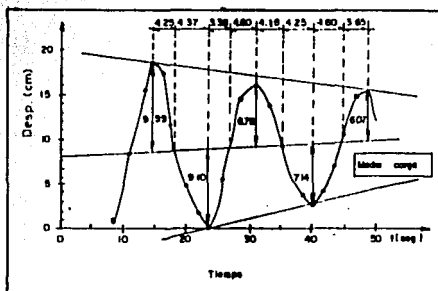


Fig. 6.10 Movimiento Libre de Vaiven en Restricciones Simétricas (Media Carga)

La figura 6.10 muestra el resultado del movimiento de Vaiven en la condición de Media Carga, obteniendo el periodo natural y el cociente de disminución en la forma siguiente:

$$T_0 = \frac{4.25+4.37+3.38+4.60+4.15+4.25+4.60+3.65}{8} \times 4 = 16.625 \text{ seg}$$

$$C = \left(\frac{6.78}{9.99} + \frac{7.14}{9.10} + \frac{6.07}{6.78} \right) \div 3 = 0.786$$

b) Con Carga

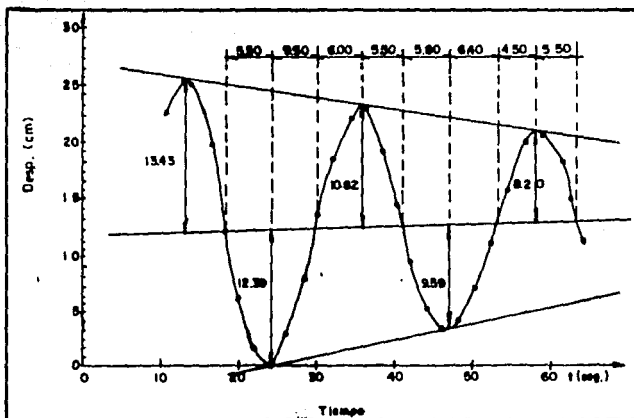


Fig. 6.11 Movimiento Libre de Valven en Restricciones Simétricas (Con Carga)

De la figura 6.11 se obtienen los siguientes resultados:

$$T_0 = \frac{5.50+5.50+6.00+5.50+5.80+6.40+4.50+5.50}{8} \times 4 = 22.35 \text{ seg.}$$

$$C = \frac{\left(\frac{10.82}{13.43} + \frac{9.59}{12.39} + \frac{8.20}{10.82} \right)}{3} = 0.779$$

c) Obtención de la Masa Adicional y de los coeficientes para Media Carga

El valor de m_0 no varía porque la masa es constante, entonces se tiene que:

$$m_0 = 52 \text{ kg}$$

En las amarras en restricciones simétricas se observa que al producirse un desplazamiento de vaiven, solamente las cuerdas a 45° trabajan por la acción del movimiento, por esta causa el valor del coeficiente de restricción del movimiento se obtiene como sigue:

$$k = \frac{4.5}{2} \times 2 = 4.5 \text{ N/m}$$

Entonces el valor de m_a en la condición de Media Carga se obtiene en la siguiente forma:

$$m_a = \frac{k T_0^2}{4 \pi^2} - m_0 = \frac{4.5 \times 16 \cdot 625^2}{4 \pi^2} - 52$$

$$m_a = -20.50 \text{ kg}$$

d) Obtención de la Masa Adicional y de los coeficientes del barco Con Carga.

El coeficiente de restricción del movimiento (k) es el mismo para las 2 condiciones de carga; entonces la masa adicional (m_a) se calcula igual que en la condición de Media Carga como sigue:

$$M_a = \frac{4.5 \times 22.25^2}{4 \pi^2} - 81 = -24.57 \text{ kg}$$

Los valores de m_a son erróneos y esto es claro, porque el valor de la masa adicional debe tener un valor positivo. El problema está en la estimación del valor de k que es de 4.5 N/m; el cuál es mucho menor que el valor real actuante, por lo que hay que cuidar que en el momento del ensayo no se tenga una tensión inicial, porque ésta aumenta el valor de k dando como resultado, si no se toma en cuenta la tensión inicial; una masa adicional negativa.

Si se desea un resultado exacto en el movimiento de vaiven, hay que mejorar el sistema de amarras del modelo; pero para este movimiento no hay ningún problema, porque su período natural es

muy largo comparado con el oleaje de ataque (actuante) y no es posible que se presente el fenómeno de resonancia.

(4) Guiñada

a) Media Carga

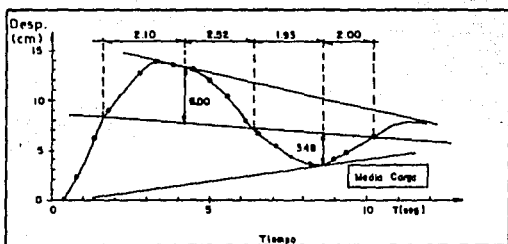


Fig. 6.12 Movimiento Libre de Guiñada en Restricciones Simétricas (Media Carga)

En la figura 6.12 se observa el movimiento de Guiñada en la condición de Media Carga, obteniendo T_0 y C como sigue:

$$T_0 = \frac{2.10+2.52+1.93+2.00}{4} = 8.55 \text{ seg.}$$

$$C = \frac{(3.48)^2}{6.00} = 0.336$$

Como se puede observar, en la medición de Guiñada hay demasiada disminución y no se puede realizar durante un período, por lo que se realiza solamente durante la mitad de un período. Para el cálculo, los valores de la mitad del período se elevan al cuadrado, suponiendo que el cociente de disminución es igual para la siguiente mitad del período.

b) Con Carga

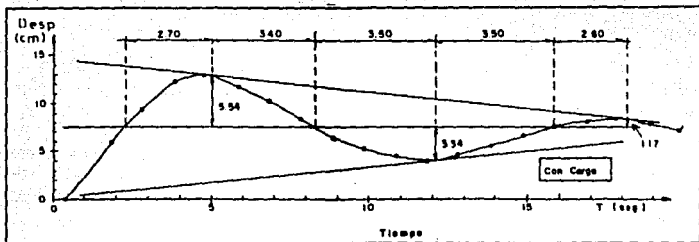


Fig. 6.13 Movimiento Libre de Guiñada en Restricciones Simétricas (Con Carga)

De la figura 6.13 se obtienen los siguientes resultados:

$$T_0 = \frac{2.70+3.40+3.50+3.50+2.60}{5} \times 4 = 12.56 \text{ seg}$$

$$C = \frac{(1.17)}{5.54} = 0.211$$

c) Obtención del Momento de Inercia Adicional y de los coeficientes externos que actúan sobre el barco para Media Carga.

Suponiendo que el momento de Inercia de Guiñada es igual al momento de Inercia de Cabeceo, entonces se tiene que para Media Carga:

$$I_0 = 19.118 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Ahora, con el fin de facilitar el cálculo del coeficiente de restricción debido al empuje hidrostático (K); se obtiene un promedio de las distancias indicadas en la figura como sigue:

$$(0.692+0.80) \div 2 = 0.746 \text{ m}$$

Por lo que con un desplazamiento de Guiñada de θ radianes, se tiene un desplazamiento en las amarras de:

$$0.746 \theta \text{ m}$$

con este desplazamiento se obtiene la tensión para las amarras de la siguiente forma:

$$\text{Tensión cuerda perpendicular} = 11.4 \times 0.746 \theta \text{ N}$$

$$\text{Tensión cuerda oblicua (45°)} = \frac{4.5}{2} \times 0.746 \theta \text{ N}$$

Entonces, para obtener el valor del coeficiente de restricción (K) se multiplican las fuerzas de tensión obtenidas por la distancia correspondiente (0.746 m) para las 4 amarras como sigue:

$$2[(11.4 \times 0.746 \theta) \times 0.746 + \frac{4.5}{2} \times 0.746 \theta] \times 0.746$$

$$= 15.19 \theta \text{ N}\cdot\text{m}$$

Por lo que:

$$K = 15.19 \text{ N}\cdot\text{m}$$

y los valores de I_a y N_d son:

$$I_a = \frac{K T_0^2}{4 \pi^2} - I_0 = \frac{15.19 \times 8.55^2}{4 \pi^2} - 19.118 = 9.01 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$N_d = \frac{2(I_0 + I_a)}{T_0} \ln\left(\frac{1}{\epsilon}\right) = \frac{2(19.118 + 9.01)}{8.55} \ln\left(\frac{1}{0.336}\right)$$

$$= 7.17 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}$$

d) Obtención de I_a y N_d en la condición Con Carga

El coeficiente de restricción (K) es el mismo para las 2 condiciones de carga por lo que:

$$I_a = \frac{15.19 \times 12.56^2}{4 \pi^2} - 25.66 = 35.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$N_d = \frac{2(25.66 + 35.03)}{12.56} \ln\left(\frac{1}{0.211}\right) = 15.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{seg}$$

5. Arzada

a) Media Carga

En el movimiento de Arzada se tiene mucha disminución durante un periodo de oscilación, por lo cual el periodo natural de este movimiento no se puede medir; entonces solamente se estimó el periodo natural por medio del cálculo

Como la masa adicional no está dada se supone que es igual a la masa del barco, por lo que se tiene que:

$$m_0 = m_A$$

El periodo natural del movimiento está dado en la siguiente ecuación:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m_0 + m_A}{k}}$$

El valor de m_0 es igual a 52 kg y el valor de k está dado en la siguiente ecuación:

$$k = \rho g A$$

Donde:

ρ : Densidad del agua

g : Aceleración de la gravedad

A : Area del barco a la superficie del agua

Suponiendo que A es constante entre la superficie del agua y el fondo del barco y además el calado es:

$$d = 0.085 \text{ m}$$

se obtiene A como sigue:

$$A = \frac{m_0}{\rho d} = \frac{52}{1000 \times 0.085} = 0.612 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el valor de k , es igual a :

$$k = 1000 \times 9.8 \times 0.612 = 5995 \text{ N/m}$$

Y el periodo natural T_0 es:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{52+52}{5995}} = 0.828 \text{ seg. en modelo}$$

Entonces el valor de T_0 en prototipo es:

$$T_0 = 8.28 \text{ seg}$$

b) Con Carga

De la misma forma que en la condición de Media Carga se obtienen los siguientes valores:

$$m_0 = 81 \text{ kg}$$

$$d = 0.135 \text{ m}$$

$$A = \frac{81}{1000 \times 0.135} = 0.60 \text{ m}^2$$

$$k = 1000 \times 9.8 \times 0.60 = 5880 \text{ N/m}$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{81 + 81}{5880}} = 1.043 \text{ seg. en modelo}$$

Entonces el valor del período natural en el prototipo es:

$$T_0 = 10.43 \text{ seg.}$$

Como se puede observar, los períodos obtenidos anteriormente son muy probables que ocurran en el puerto, por lo que es importante ponerle atención ya que se puede presentar el fenómeno de resonancia en este tipo de movimiento.

Para la siguiente etapa del experimento, en donde el barco estará expuesto al oleaje; se deben de tomar filmaciones del movimiento de Arzada para tener un análisis más adecuado.

6. Cabeceo

a) Media Carga

Al igual que el movimiento de Arzada, también el movimiento de Cabeceo tiene mucha disminución, por lo que tampoco se puede medir su período natural. Debido a esto se estima el período natural por medio del cálculo.

El momento de inercia adicional se supone igual al momento de inercia del barco, entonces se tiene que:

$$I_0 = I_a$$

El período natural de Cabeceo está dado en la ecuación:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_a}{k}}$$

Donde I_0 es igual:

$$I_0 = 19.118 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

El coeficiente k está dado en la siguiente ecuación suponiendo que el flotador (barco) es rectangular:

$$k = \rho g B L d \overline{GM}$$

Donde:

$$B = 0.35 \text{ m}$$

$$L = 2.30 \text{ m}$$

$$d = 0.085 \text{ m}$$

El valor de \overline{GM} está dado en la siguiente ecuación, también suponiendo que el flotador es rectangular:

$$\overline{GM} = \frac{(L/2)^2}{3d} - \frac{d}{2} - Z_0$$

Donde:

Z_0 : Centro de gravedad hacia arriba de la superficie del agua ($Z_0 = 0.038 \text{ m}$)

Ya con esta información se pueden calcular los coeficientes como sigue:

$$\overline{GM} = \frac{(2.3/2)^2}{3 \times 0.085} - \frac{0.085}{2} - 0.038 = 5.106 \text{ m}$$

$$K = 1000 \times 9.8 \times 0.35 \times 2.3 \times 0.085 \times 5.106 = 3423.90 \text{ km} \cdot \text{m}^2 / \text{seg}^2$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{19.118 + 19.118}{3423.90}} = 0.664 \text{ seg. en modelo}$$

por lo que el valor de T_0 en el prototipo es:

$$T_0 = 6.64 \text{ seg.}$$

b) Con Carga

Igual que para el caso anterior se obtiene T_0 como sigue:

$$I_0 = 25.66 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$Z_0 = -0.033 \text{ m}$$

$$d = 0.135 \text{ m}$$

Entonces se tiene que:

$$\overline{GM} = \frac{(2.3/2)^2}{3 \times 0.135} - \frac{0.135}{2} - (-0.033) = 3.23 \text{ m}$$

$$K = 1000 \times 9.8 \times 0.35 \times 2.3 \times 0.135 \times 3.23 = 3439.99 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{seg}^2$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{25.66 + 25.66}{3439.99}} = 0.767 \text{ seg.}$$

El valor de T_0 en el prototipo será:

$$T_0 = 7.67 \text{ seg.}$$

Como se aprecia, los valores resultantes del período son muy probables que ocurran en el puerto y se puede presentar el fenómeno de resonancia. Al igual que en el movimiento de Arzada, se debe poner atención en el movimiento de Cabeceo cuando el barco esté expuesto al oleaje.

6.3 Movimiento del Barco con Oleaje

Las condiciones del experimento para el estudio de los movimientos del barco expuesto al oleaje son las siguientes:

Tipos de movimientos: Balanceo, Arzada y Cabeceo
Altura de ola : 1.5 cm
Períodos: 0.5, 0.65, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6 y 2.0 seg.
Condiciones de carga: Media Carga y Con Carga
Restricciones de amarre: Restricciones Simétricas
Dirección de oleaje: Perpendicular (90°) y oblicua (60°)

Se consideran solamente los movimientos de Balanceo, Arzada y Cabeceo, porque su período natural puede coincidir con el período del oleaje actuante. Los períodos considerados son los cercanos a los que ocurren en la zona de estudio

(1) Balanceo

En los ensayos anteriores, resultó que las condiciones de carga no influyen en este movimiento, por esta razón se consideró la condición de "Media Carga" para los ensayos con oleaje.

Tabla 6.3 Resultados de Balanceo para oleaje regular

Caso					Doble Amplitud de Movimiento de la Antena En Modelo (cm)	θ (rad)	$\frac{2\theta}{H}$	$\frac{\theta}{\theta_{max}}$
N°.	Carga	Dirección	T (seg)	H (cm)				
1	Media Carga	90°	0.8	1.5	1.17	0.0082	0.1933	0.1426
2	Media Carga	90°	1.0	1.5	2.50	0.0177	0.4131	0.4245
3	Media Carga	90°	1.3	1.5	11.70	0.0280	1.9334	2.7149
4	Media Carga	90°	1.6	1.5	7.65	0.0541	1.2641	2.2373
5	Media Carga	90°	2.0	1.5	3.38	0.0239	0.5585	1.2562
22	Media Carga	60°	1.0	1.5	0	0	0	0
23	Media Carga	60°	1.3	1.5	8.90	0.0830	1.4707	2.0652
24	Media Carga	60°	1.6	1.5	7.57	0.0536	1.2509	2.2139
24	Media Carga	60°	2.0	1.5	4.04	0.0286	0.6676	1.5015

La Tabla 6.3 muestra el resultado del análisis de Balanceo en las dos direcciones de oleaje. También se observan los 2 valores adimensionales de Balanceo. El primer valor representa la amplitud vertical de la punta del barco ($2\theta/H$) y el segundo valor adimensional es la relación de la amplitud de Balanceo con la pendiente máxima del oleaje (θ/θ_{max}).

El Valor de θ_{max} se da en la siguiente ecuación:

$$\theta_{max} = \frac{\pi H}{L}$$

en donde:

H = Altura de ola en metros

L = Longitud del oleaje en metros

Si los valores adimensionales mencionados anteriormente son mayores a 1, esto indica que se presenta el fenómeno de resonancia.

Con los valores de la Table 6.3 se obtienen las figuras 6.14 y 6.15

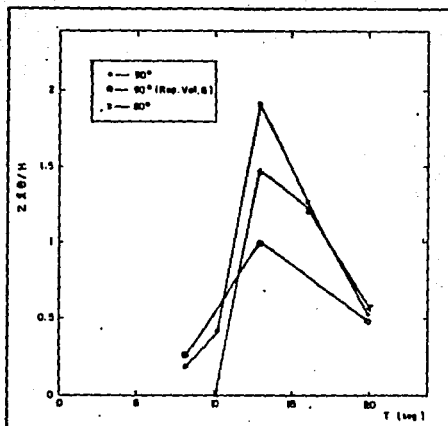


Fig. 6.14 Análisis de Balanceo (1)

La figura 6.14 muestra los valores de la Table 6.3 en donde el eje horizontal, es el período del oleaje que ataca al barco con valores correspondientes al prototipo, y el eje vertical, es el valor adimensional de $(2\lambda\theta/H)$. Como se observa en la figura, también se muestran los resultados preliminares (*) para poder realizar las comparaciones entre los resultados de los dos experimentos.

Haciendo una comparación entre los oleajes, perpendiculares, actual y anterior, se observa que el efecto de resonancia aumenta, la razón es porque el oleaje en el experimento actual llega más uniformemente.

*Reporte Vol. 6 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T. San Juan Ixhuatepec, Edo. de Méx.

Al comparar las dos direcciones actuantes (90° y 60°), se observa que existe mayor resonancia en el oleaje perpendicular. Entonces, cuando al barco lo ataca un oleaje perpendicular con un periodo de 13 seg, la amplitud vertical de la punta del barco será aproximadamente el doble.

Otra observación importante consiste en que en la dirección oblicua (60°) para periodos cortos (menores a 13 seg), no se presenta el movimiento de Balanceo y en periodos largos (mayores a 13 seg), la medición llega a ser similar a la dirección perpendicular. Por lo tanto el periodo de resonancia se sigue presentando con 13 segundos.

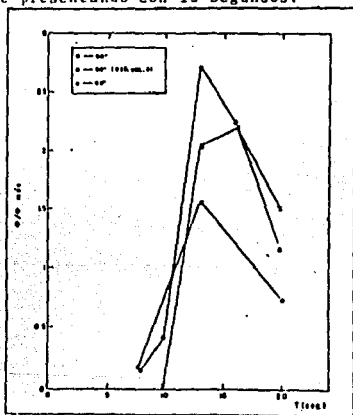


Fig. 6.15 Análisis de Balanceo (2)

La figura 6.15 muestra los valores de la Tabla 6.3, en donde el eje horizontal es el periodo del oleaje actuante, con valores correspondientes al prototipo y el eje vertical corresponde al valor adimensional de $\theta/\theta_{m\acute{a}x}$. En la figura se observa también el periodo de resonancia para este movimiento en 13 segundos.

(2) Arzada

El análisis del movimiento de Arzada es similar al de Balanceo, so lo que en este caso si se consideran las 2 condiciones de carga, debido a que existe diferencia en los períodos naturales obtenidos de acuerdo al cálculo para las condiciones de carga $T_0=0.828$ segundos para Media Carga y $T_0=1.043$ segundos Con Carga.

Tabla 6.4 Resultados de Arzada para oleaje regular

CASO					DOBLE AMPLITUD (cm)	
No.	Condición de Carga	Dirección	T (seg)	H (cm)	2η / H	
					En modelo	(cm)
6	Media carga	90°	0.5	1.5	0	0
7	Media carga	90°	0.65	1.5	0.07	0.61
8	Media carga	90°	0.8	1.5	1.43	0.93
9	Media carga	90°	1.0	1.5	2.43	1.67
10	Media carga	90°	1.3	1.5	5.31	3.54
16	Con carga	90°	0.8	1.5	0.99	0.66
17	Con carga	90°	1.0	1.5	2.67	1.78
18	Con carga	90°	1.3	1.5	5.21	3.47
25	Media carga	60°	0.65	1.5	0	0
26	Media carga	60°	0.8	1.5	0	0
27	Media carga	60°	1.0	1.5	1.46	0.97

La Tabla 6.4 muestra el resultado del análisis de Arzada y sus condiciones de ensayo, se observa el valor de la doble amplitud (2η) de este movimiento.

El valor adimensional ($2\eta/H$) indica si se presenta o no el efecto de resonancia; esto es, cuando $(2\eta/H) > 1$ se presenta dicho fenómeno. Los valores marcados con (*) indican que hay una influencia del movimiento de Balanceo, ya que se presenta un valor muy grande y no podemos medir el movimiento de Arzada (esta causa se debe a que dichos valores corresponden a un período $T = 1.3$ seg. que es el período natural de Balanceo), por lo que los períodos mayores o iguales a 1.3 no son confiables para el análisis de Arzada y por esta razón dichos valores no se grafican.

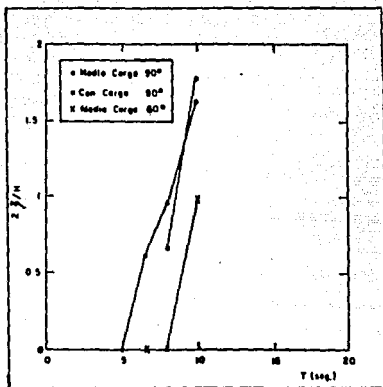


Fig. 6.16 Análisis de Arzada

La figura 6.16 muestra el análisis de Arzada con los valores obtenidos en la Tabla 6.4; en donde el eje horizontal es el Período con valores del prototipo y el eje vertical, es el valor adimensional de $(2\eta/H)$. En la cuál se observa que para el oleaje perpendicular (90°), la condición de carga no influye en el mismo movimiento, ya que los valores obtenidos en las diferentes condiciones de carga son muy parecidos. Con respecto al oleaje oblicuo (60°), se observa que los valores obtenidos son menores a los del oleaje perpendicular, por tal motivo, se supone que se tendrán más problemas en la operación, cuando ataque un oleaje perpendicular.

También se observa que para valores de períodos menores a 10 seg. el movimiento de Arzada es más representativo y no afecta el movimiento de Balanceo, por lo que se supone que el período natural de Arzada corresponde a dichos valores.

(3) Cabeceo

Al igual que en el movimiento de Arzada, el análisis de Cabeceo se hará en forma semejante.

Tabla 6.5 Resultados de Cabeceo para Oleaje Regular

No.	Caso		T (seg)	H (cm)	Doble Amplitud de la Diferencia de Desplazamiento (cm) En modelo (28)	$\dot{\theta} = \frac{J}{B}$	$\frac{2015}{H}$
	Condición de carga	Dirección					
11	Media Carga	90°	0.5	1.5	0	0	0
12	Media Carga	90°	0.65	1.5	0	0	0
13	Media Carga	90°	0.8	1.5	1.93	0.0087	1.3415
14	Media Carga	90°	1.0	1.5	0	0	0
15	Media Carga	90°	1.3	1.5	3.01	0.0136	2.0921*
19	Con Carga	90°	0.5	1.5	0	0	0
20	Con Carga	90°	0.65	1.5	0	0	0
21	Con Carga	90°	0.8	1.5	1.90	0.0086	1.3206
28	Media Carga	60°	0.5	1.5	0	0	0
29	Media Carga	80°	0.65	1.5	0	0	0
30	Media Carga	60°	0.8	1.5	2.42	0.0109	1.6820

Los resultados del movimiento de Cabeceo se muestran en la Tabla 6.5, para las diferentes condiciones del ensayo.

El valor marcado con (*) indica un valor muy grande en la condición de "media carga", esto es a causa del efecto que produce el movimiento de Balanceo porque el período que afecta es el de 1.3 seg.

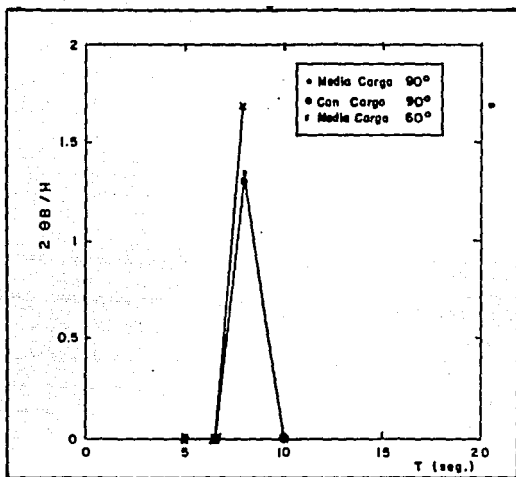


Fig. 6.17 Análisis de Cabeceo

En la figura 6.17 se grafican los resultados de la Tabla 6.5, para realizar el análisis de Cabeceo. En donde el eje horizontal muestra el período con los datos del prototipo y el eje vertical el valor adimensional de $[2\theta(115)/H]$.

Se observa que para un oleaje perpendicular (90°), la condición de carga no afecta en este movimiento. Sin embargo, sí existe una diferencia en cuanto a la dirección del oleaje, ya que la resonancia presentada en el oleaje oblicuo (60°) es mayor que la del oleaje perpendicular (90°); por lo que se tendrán mayores problemas cuando ataque un oleaje oblicuo al barco.

El período representativo para el movimiento de Cabeceo que se observa en la figura, es de 8 seg, el cual se considera como el período natural del movimiento.

C A P I T U L O 7

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

Después de haber analizado los diferentes resultados obtenidos en los ensayos realizados, es factible establecer las siguientes conclusiones:

1. Los oleajes que se presentan frente al canal de acceso provienen del Sur y Sureste con un 68 y 32 % respectivamente. Alturas máximas de 2 a 4 metros y períodos de 8 a 16 segundos.
2. Las corrientes litorales que se presentan frente al acceso son del orden de 40 cm/seg y no representan problemas para el acceso a las embarcaciones.
3. Las corrientes que podrían tener una influencia para el movimiento de las embarcaciones serían las que se presentan en el cauce del río que se estima, tendrían como máximo un valor de 1 m/seg. actualmente, pero en el futuro se reducirán prácticamente a 10 cm/seg. que no tienen ninguna influencia sobre el movimiento de la embarcación.
4. Los vientos normales existentes en la zona cuya mayor frecuencia corresponde al Sur, permitirán operar a la embarcación sin ningún problema, salvo en la época de ciclones en la cuál las operaciones se suspenden.
5. En los movimientos de Vaiven, Deriva y Guiñada no se tienen problemas por efectos de resonancia, porque sus períodos naturales son muy largos comparados con el período del oleaje actuante.

6. Para los movimientos de Balanceo, Arzada y Cabeceo, el efecto de resonancia es factible que se presente, porque sus períodos naturales son parecidos al período del oleaje actual, por lo que es necesario analizarlos detalladamente cuando actúa el oleaje.
7. En el reporte técnico N°. 6 del Laboratorio de Hidráulica Marítima se analizaron las características del movimiento de Balanceo contra el período del oleaje; en el cuál se concluyó que el fenómeno de resonancia se presenta en el período de 13 seg; además las condiciones de carga tienen pocas diferencias entre si, es decir; que no influye de una manera notoria la condición en que se encuentra el barco. Sin embargo para los movimientos de Arzada y Cabeceo es importante el análisis detallado con oleaje, porque el cálculo muestra que existen diferencias entre los períodos naturales en las condiciones de Media Carga y Con Carga.
8. Con la medición de la altura de ola en los ensayos, se comprueba que existe uniformidad en la altura en la dirección perpendicular al oleaje en el canal experimental.
9. En el análisis de Balanceo con Oleaje se comprobó que el período de resonancia es aproximadamente de 13 seg., al igual que en los ensayos preliminares.
Comparando los 2 experimentos; se comprobó que la resonancia aumenta debido a que ya existe uniformidad en la altura de ola. La dirección perpendicular en el oleaje es más desfavorable que la dirección oblicua (60°)

10. Para el análisis de Arzada con oleaje se comprueba también que el período de resonancia es igual o mayor a 10 seg. pa
ra las 2 condiciones de carga con oleaje perpendicular. Eg
to muestra que la masa adicional es mayor a la supuesta en
los ensayos preliminares. El oleaje oblicuo presentó menor
movimiento de Arzada.

Para períodos mayores a 10 seg. no se puede medir este movi
miento debido a que existe efecto del movimiento de Balan
ceo, porque se acerca a su período natural que es de 13
seg.

11. Para el análisis de Cabeceo con oleaje; se comprueba que
el período de resonancia es aproximadamente de 8 seg. en
las 2 condiciones de carga con oleaje perpendicular. Esto
muestra que el momento de inercia adicional es mayor al su
puesto en los ensayos preliminares.

En la dirección oblicua se observa mayor movimiento de Ca
beceo que en la dirección perpendicular.

Para períodos mayores a 10 seg no se puede medir el movi
miento, ya que existe efecto de Balanceo.

BIBLIOGRAFIA

1. Estudios de campo realizados en el Bajo Río Balsas durante el año de 1964
Memoria N°. 22
Secretaría de Marina
Dirección General de Obras Marítimas
México, D.F., julio 1965
2. Estudio Hidráulico Teórico Preliminar del Canal de Navegación del Bajo Río Balsas
Secretaría de Marina
Dirección General de Obras Marítimas
Departamento de Estudios y Laboratorios
Memoria N°. 7
México, D.F. mayo 1964
3. Estudio en Modelo Reducido del Río Balsas
Memorandum Técnico N°. 7
Secretaría de Marina
Dirección General de Obras Marítimas
Departamento de Estudios y Laboratorios
México, D.F. julio 1965
4. Sondeos Geológicos en el Puerto Industrial "Lázaro Cárdenas"
Tecní-suelo 1980
5. Memoria Descriptiva de los Estudios Físicos y Experimentales para el Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas, Mich.
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
México, D.F. 1981
6. Cálculo de Volúmenes de Acarreo Litoral (1980). 3.1.8
Area Industrial Portuaria de Lázaro Cárdenas, Mich.
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
7. Wave and Corrent Processor
Manul 4.7
Area Industrial Portuaria de Lázaro Cárdenas, Mich.
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
8. Estudios Batimétricos
Memoria Descriptiva
Area Industrial Portuaria de Lázaro Cárdenas, Mich.
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
9. Conclusiones sobre las Observaciones de Dirección de Oleaje efectuadas desde el Faro, 4.6
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
octubre 1981

10. Estudios Topográficos
Memoria descriptiva N°. 1
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
11. Propuesta para Desarrollar el Proyecto del Puerto Industrial en Lázaro Cárdenas, Mich.
MC. Ingeniería de Diseño S.C.
12. Estudio de Agitación en el Modelo Hidráulico del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.
Vol. 13
Dirección General de Obras Marítimas
Departamento de Laboratorio
13. Cálculo de la Operatividad de la Terminal Receptora de Carbón que se proyecta ubicar en Lázaro Cárdenas, Mich. considerando como criterios el oleaje y la velocidad del viento.
Ing. José Miguel Montoya Rodríguez
Vol. 23
Dirección General de Obras Marítimas
Departamento de Laboratorio
junio 1984
14. Estudio de Maniobrabilidad de Embarcaciones Carboneras en la Estación Especializada de Micare en el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.
Minera Carbonífera Río Escondido, S.A.
enero 1986
15. Ensayos Preliminares sobre los Movimientos del Barco Atracado.
Palmas Arellanos Isaias, Flores Ayala Fco. Javier, Torres Ortiz Valente.
Reporte Técnico N°. 6 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T.
octubre de 1987
16. Experimentos sobre el Movimiento del Barco Atracado con Oleaje Regular e Irregular
Palmas Arellanos Isaias, Torres Ortiz Valente.
Reporte Técnico N°. 9 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T.
abril de 1988
17. Teoría Básica sobre Movimiento de Flotadores
Nagai Toshihiko
Texto Vol. 10 del Laboratorio de Hidráulica Marítima JICA-S.C.T.
marzo 1988

18. Manual para el Manejo de la Micromcomputadora AMICS 816
Nagai Toshihiko
Nota Vol. 1 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T.
diciembre 1980
19. 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
Sato Shoji, Nagai Toshihiko
Nota Vol. 2 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T.
marzo 1987
20. Características Generales de las Ondas Progresivas Generales.
Sato Shoji
Texto Vol. 1 del Laboratorio de Hidráulica Marítima S.C.T.
noviembre 1985
21. Apuntes de Clases Impartidas sobre Movimiento de Flotadores.
Tomotsuka Takayama
Jefe del Laboratorio de Kuriyama
agosto 1987