

31  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGON ”

Estudio Experimental de Tensión de las Amarras  
y Movimientos de Balanceo de un Barco Atracado  
Sujeto a Oleaje Irregular

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

**VALENTE TORRES ORTIZ**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Méx. 1991



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
CAPITULO 1.	
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 2.	
INSTALACIONES Y EQUIPO EXPERIMENTAL.....	10
2.1 Canal de experimentación.....	10
2.2 Modelo de barco y muelle.....	12
2.3 Modelo del sistema de amarras.....	16
2.4 Sistema de video.....	18
CAPITULO 3.	
CALIBRACION DEL MODELO.....	21
3.1 Cálculo de la señal de oleaje irregular.....	21
3.2 Medición del oleaje experimental.....	27
3.3 Calibración del oleaje irregular.....	30
CAPITULO 4.	
ENSAYOS DEL MOVIMIENTO DE BALANZOS.....	32
4.1 Condiciones del ensayo.....	32
4.2 Metodología experimental.....	33
4.3 Método de análisis.....	35

CAPITULO 5.	
ENSAYOS DE TENSION EN LAS AMARRAS.....	39
5.1 Condiciones de ensayo.....	39
5.2 Metodología experimental.....	40
5.3 Método de análisis.....	41
CAPITULO 6.	
RESULTADOS.....	46
6.1 Movimiento de Balanceo.....	46
6.2 Tensión en las amarras perpendiculares.....	51
6.3 Tensión en las amarras oblicuas.....	57
CAPITULO 7.	
CONCLUSIONES.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	67

## CAPITULO 1.

### INTRODUCCION.

Los movimientos de un barco atracado influyen en la eficiencia de los trabajos de carga y descarga del mismo. Estos movimientos están especialmente afectados por diversos agentes externos, entre los que destacan, los oleajes, los vientos y las corrientes. Sin embargo, es de gran importancia, en un puerto, la construcción de rompeolas para reducir la altura de ola. La eficiencia del manejo de carga depende de la altura del oleaje permisible en el puerto, y esa eficiencia está influenciada por los movimientos del navio sujeto a los agentes externos. Sin embargo, la intensidad de los movimientos, los cuales afectan los trabajos de manejo de carga, no han sido investigados suficientemente, siendo el objetivo del presente trabajo, estudiar experimentalmente mediante un modelo hidraulico la tension de las amarras y el movimiento de balanceo de un barco atracado cuando se encuentra sujeto a la accion del oleaje.

Un barco es un sistema dinámico con seis grados de libertad, tres lineales y tres angulares, de tal modo que su analisis requiere la solución de un sistema de seis ecuaciones con seis incógnitas. Las seis ecuaciones dinámicas deben solucionarse para analizar los movimientos del barco

exactamente. La complicación es que los seis diferentes movimientos no son independientes.

La ecuación dinámica, que expresa los movimientos de un barco atracado, está como sigue:

$$(M_0 + M_a) \ddot{x} + N_0 \dot{x} + C_d | \dot{x} | \dot{x} + B(x) + K(x) = F_w + F_d$$

donde:

$M_0$  = Matriz del momento de inercia del barco y la masa del barco.

$M_a$  = Matriz del momento de inercia adicional y la masa adicional.

$N_0$  = Matriz del coeficiente lineal de la fuerza de disminución.

$C_d$  = Matriz del coeficiente no lineal de la fuerza de disminución.

$B$  = Vector de fuerza restablecida.

$K$  = Vector de fuerza de las amarras.

$F_w$  = Vector de fuerza del oleaje producido por el barco i.

$F_d$  = Vector de fuerza de la corriente.

$x$ , indica el vector de desplazamiento del barco e incluye tres componentes de desplazamiento ( $x$ ) y tres componentes de rotación ( $\theta$ ).

Los seis movimientos de un barco, son nombres individuales especificados como se muestra en la figura (1.1).

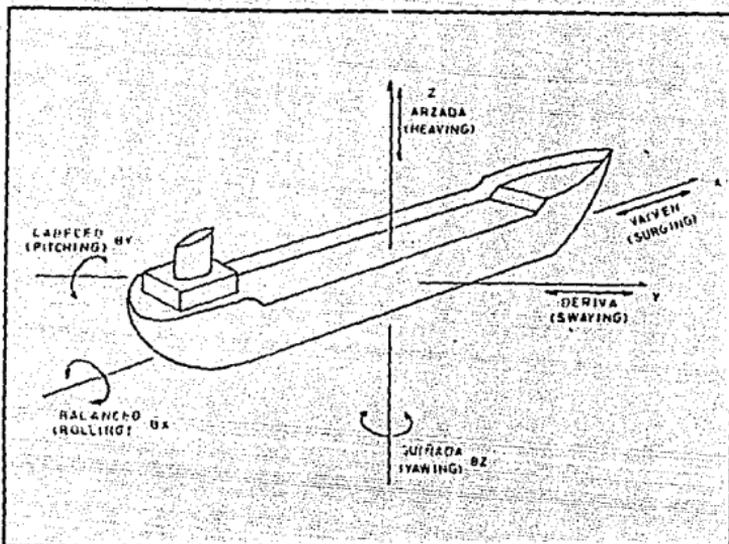


Fig. 1.1 Notación de los movimientos de un barco.

Generalmente, el centro de gravedad (C.G.) de un barco se utiliza como el centro de los movimientos.

El movimiento de un desplazamiento en la dirección longitudinal (X) es llamado "Vaiven" (Surging), y el movimiento rotacional ( $\theta_x$ ) alrededor del eje longitudinal (X) es llamado "Balanceo" (Rolling). El movimiento de un

desplazamiento transversal (Y) se denomina "Deriva" (Swaving), y el movimiento rotacional ( $\theta_Y$ ) alrededor del eje transversal (Y) se llama "Cabeceo" (Pitching). El movimiento de un desplazamiento vertical (Z) se llama "Arzada" (Heaving), y el movimiento de rotación ( $\theta_Z$ ) alrededor del eje vertical (Z) se denomina "Guiñada" (Yawing).

Los movimientos de Cabeceo y Balanceo, están generalmente relacionados a los de Váives y Deriva, respectivamente.

Como se mencionó previamente, una componente de los movimientos del barco induce otra componente del movimiento. La causa de la interacción recíproca puede explicarse como sigue:

La figura (1.2) muestra una sección transversal de un barco, la cual se mueve en dirección horizontal. El movimiento del barco genera oleaje en ambos lados del mismo, y el oleaje genera una presión dinámica del fluido sobre el barco. Cuando se calcula el momento alrededor del centro de gravedad debido a la presión del oleaje, el momento no desaparece teniendo algún valor. Esto significa que el sistema no está en equilibrio. Consecuentemente, el oleaje generado por el movimiento horizontal forma un movimiento rotacional alrededor del centro de gravedad.

La figura (1.2) muestra el caso entre el movimiento de Deriva y el de Balanceo, pero la misma interacción ocurre para otras componentes del movimiento.

Inversamente, el movimiento de Balanceo inicia el de Deriva por el mismo mecanismo, antes mencionado.

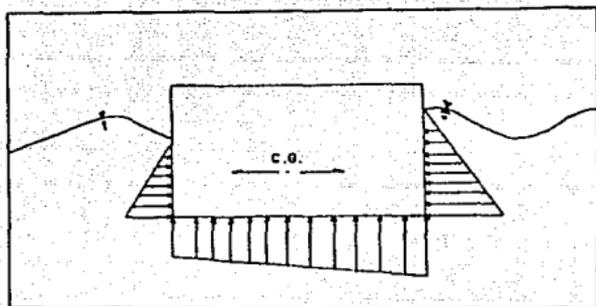


Fig. 1.2 Presión de un fluido alrededor de un barco, producido por el movimiento del mismo.

La interacción recíproca toma lugar entre los movimientos de Balanceo y de Deriva, de Cabeceo y de Vaiven, de Arzada y de Cabeceo y entre el de Guiñada y el de Deriva; pero especialmente entre los movimientos de Balanceo y de Deriva.

El coeficiente de interacción puede determinarse por simulación numérica, ya que es difícil de obtener dicho coeficiente experimentalmente. Por ello, y a efecto de simplificar el estudio dinámico del barco, se acostumbra analizar los movimientos por grupos según el tipo de problema que se desea estudiar, haciendo caso omiso de la interacción con los otros movimientos; así, suele estudiarse la Deriva y la Guiñada en problemas de maniobrabilidad, la Arzada y el Cabeceo en problemas de navegabilidad, y el Balanceo en los de anclaje.

Siendo el objetivo del presente trabajo, el estudio del movimiento de una embarcación atracada y el análisis de

tensión de las amarras, el movimiento que se analizará será el de Balanceo.

El movimiento de Balanceo se puede estudiar mediante una media caña.

La figura (1.3) representa dos sistemas dinámicos elementales, totalmente análogos:

- a) Un sistema clásico constituido por una masa ( $m$ ), sujeta por un resorte de constante ( $K$ ), con un amortiguamiento ( $b$ ); el sistema es capaz de sufrir desplazamientos ( $x$ ) y susceptible de ser excitado por una fuerza ( $F$ ).
- b) Una media caña de peso ( $w$ ), sujeta a su posición de equilibrio por un momento estabilizador, con un efecto amortiguador producido por la fricción y capaz de sufrir inclinaciones ( $\alpha$ ), y factible de ser excitada por un momento ( $M=Pb$ ).

En efecto, en las figuras (1.4(a)) y (1.4(b)) se muestra cómo si la fuerza ( $F$ ) produjera una elongación ( $xF$ ), en la figura (1.4(a)) aparecerá una fuerza suministrada por el resorte opuesta a ( $F$ ), de valor ( $Kx$ ). En la figura (1.4(b)) se indica que si se produce una inclinación ( $\alpha$ ), ocasionada por ( $Pb$ ) en la media caña, aparecerá un momento estabilizador de sentido contrario y de valor ( $\Delta M C d \alpha$ ).

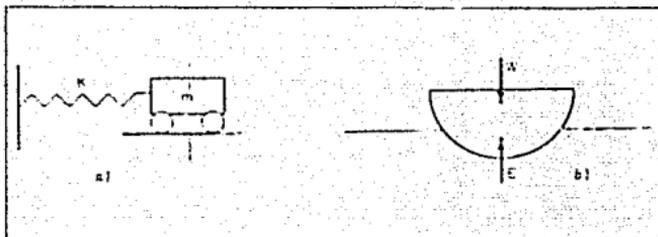


Fig. 1.3 Representación de dos sistemas dinámicos análogos.

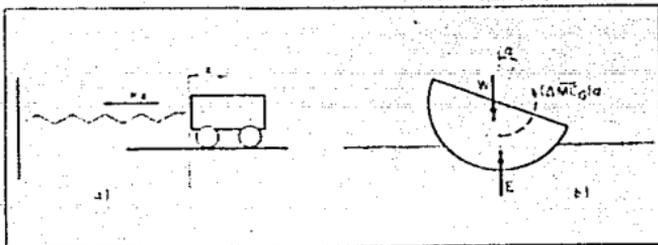


Fig. 1.4 Efecto producido por una fuerza ( $F$ ) en los dos sistemas dinámicos.

Si el barco está quieto, el oleaje actúa transversalmente al barco, poniéndolo en una precaria situación de equilibrio, entonces los movimientos del buque serán principalmente de Balanceo.

Se puede establecer que el momento total de Balanceo estará definido como:

$$M_b = M \times \text{inercia} + \text{amortiguamiento} + \text{restitución} + \text{excitación}$$

Al estudiar el Balanceo de un barco el valor del ángulo de inclinación del buque es el que interesa conocer.

Con respecto a la tensión en las amarras, el análisis se realiza de la siguiente manera.

En la figura (1.5(a)) se muestra un barco atracado con un cable de longitud ( $l_0$ ); en la figura (1.5(b)) puede apreciarse que la distancia ( $d = \overline{MB}$ ) depende del ángulo  $\beta$ , de manera que puede escribirse ( $d = f(\beta)$ ). En tanto que sea  $l_0$ , el cable no ejercerá ninguna acción sobre el buque, pero si  $l > l_0$ , entonces ocurrirá una tensión ( $T$ ) en el cable de valor:

$$T = \frac{d - l_0}{l_0} A E$$

donde:

$A$  = Área de la sección transversal.

$E$  = Módulo de elasticidad.

El brazo de la palanca ( $b$ ) de la tensión en el cable, también será función de  $\beta$ , esto es ( $b = g(\beta)$ ), de manera que el momento comunicado por el cable, en caso de actuar la tensión, será de la forma ( $M = f(\beta)$ ).

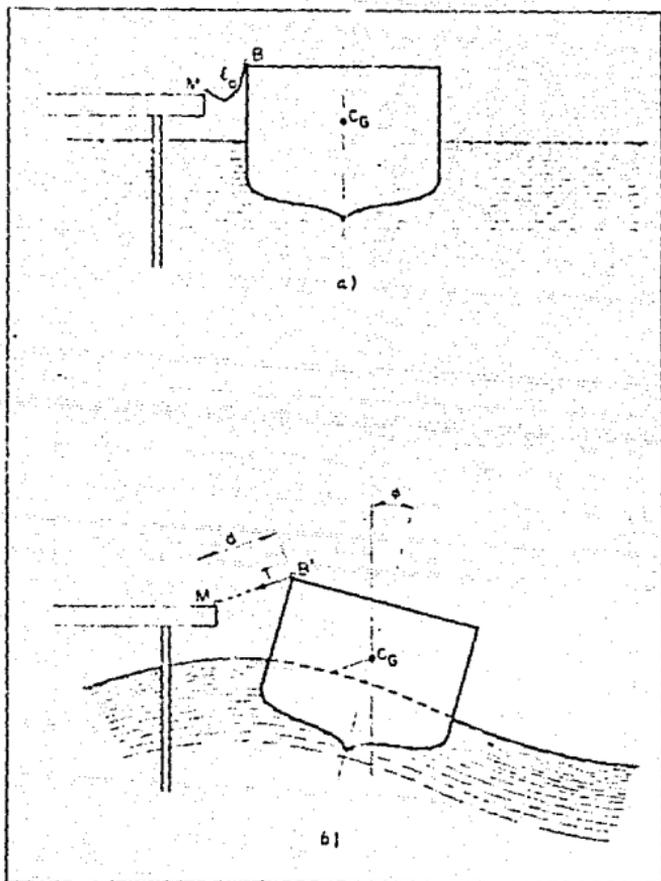


Fig. 1.5 Tensión de las amarras en un barco atracado.

## CAPITULO 2.

### INSTALACIONES Y EQUIPO EXPERIMENTAL.

Este capítulo describe las instalaciones y el equipo experimental que se utilizaron para la realización del estudio experimental.

#### 2.1 Canal de experimentación.

La figura (2.1) muestra las dimensiones del canal de experimentación, el cual cuenta con las siguientes características: tiene una longitud de 35 m., 4,5 m. de ancho y una altura de 1,3 m.; 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 del 1%.

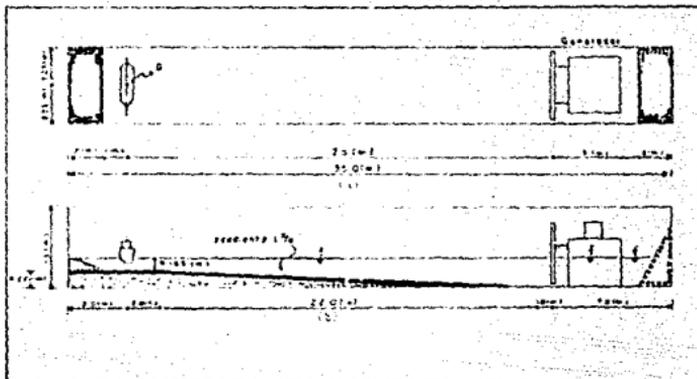


Fig. 2.1 Características del canal de experimentación.

El barco se colocó perpendicularmente a la dirección del flujo producido por el generador.

En ambos extremos del canal se colocó un talud de piedras de diferentes diámetros para evitar el efecto de reflexión del flujo durante los ensayos. La profundidad ( $h$ ) para los experimentos fue 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 Puertos Mexicanos ubicado en San Juan Ihuatpec, Edo. de México.

## 2.2 Modelo de barco y muelle.

### (1) Modelo del barco.

En la tabla (2.1) se muestran las características y dimensiones del modelo del barco y su equivalente en prototipo. Este modelo representa en prototipo una embarcación minera de 58,000 t.P.N. (toneladas de peso muerto).

Tabla 2.1 Características del barco en prototipo y modelo.

Características	Prototipo	Modelo
Peso	49,000 ton	49 kg
Estora	235 m	2.35 m
Manga	35 m	0.35 m
Esquilla	20 m	0.20 m
Peso (media carga)	52,000 ton	52 kg
Peso (Completamente cargado)	81,000 ton	81 kg
Calado (media carga)	8.3 m	0.083 m
Calado (Completamente cargado)	13.5 m	0.135 m
Calo (media carga)	12.4 m	0.124 m
C.C. (Completamente cargado)	10.3 m	0.103 m

La figura (2.2) describe las dimensiones del modelo y las condiciones de carga del experimento. En el primer caso la condición fue a "media carga", y en el segundo caso la condición fue "completamente cargado". El calado (d) sería

dependiendo de la condición de carga; además se observa en la figura la distribución de los pesos para llegar a las condiciones de carga antes mencionadas.

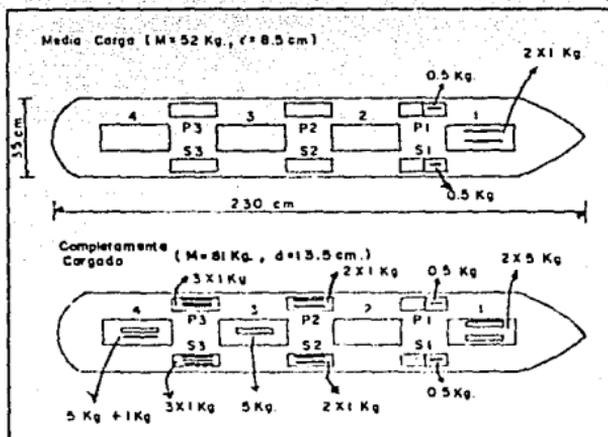


Fig. 2.2 Dimensiones del modelo y condiciones de carga

La condición de "barco sin carga" no se pudo realizar debido a que el modelo del barco contiene un pequeño motor y una batería sometiendo los experimentos a las condiciones de "media carga" y "completamente cargado", que es la condición de "carga máxima".

El ajuste del calado de la condición de "media carga" se efectuó colocando algunos pesos en los compartimentos, de tal manera que la distancia del calado fuera constante en

todos y cada uno de los puntos alrededor del barco. Para obtener 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 P2, por lo que en la condición de "media carga" la masa total ( $M_{mc}$ ) fue de 52 kg. y el calado obtenido fue de 8.5 cm.

En la condición "completamente cargado" fue necesario colocar 32 kg. de peso. La masa total en la condición "completamente cargado" fue de 81 kg. y el calado de 13.5 cm.

Para la obtención del momento de inercia ( $I_b$ ) y del centro de gravedad ( $Z_0$ ) del modelo del barco se utilizaron dos métodos: el analítico y el experimental, llegando a los siguientes resultados:

a) Media Carga.

Centro de Gravedad  $Z_0 = 12.4$  cm.

Para Balanceo  $I_b = 0.704$  kg·m<sup>2</sup>

b) Completamente Cargado.

Centro de Gravedad  $Z_0 = 10.3$  cm.

Para Balanceo  $I_b = 1.097$  kg·m<sup>2</sup>

(2) Modelo del muelle.

En la figura (2.3) se observa la similitud del modelo del muelle con la del prototipo, el cual tiene una cimentación a base de pilas.

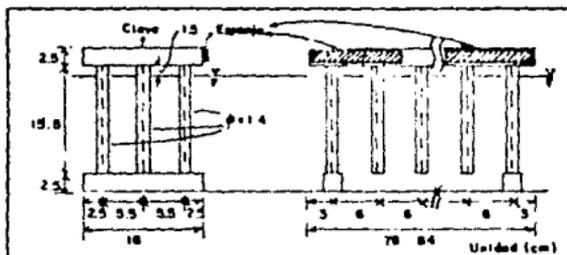


Fig. 2.3 Modelo del muelle.

Las pilas se construyeron a base de madera y sus dimensiones corresponden a las siguientes: diámetro de pilas 1.4 cm, ancho 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 fue de 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 fue 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.

### 2.3 Modelo del sistema de amarras.

#### (1) Sistema de amarras en prototipo.

La figura (2.4) muestra un esquema en planta del muelle de la Terminal Carbonifera de Lázaro Cárdenas, Mich., el cual sirvió como prototipo para la realización de los ensayos experimentales; en donde se aprecia el sistema de amarras y de defensas.

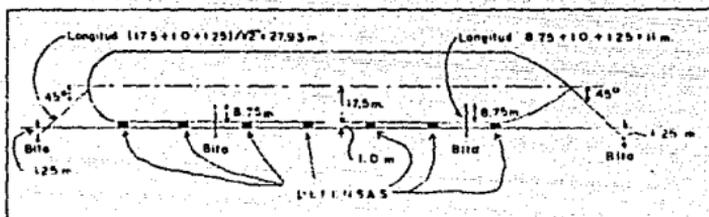


Fig. 2.4 Sistema de amarras en prototipo.

El barco al estar atracado en el muelle, requiere de defensas y de cuerdas como amarras, con una tensión máxima de 100 toneladas en prototipo cada una. Estas amarras se colocaron en dos posiciones diferentes: dos colocadas transversales al barco ( $90^{\circ}$ ) y dos en forma oblicua ( $45^{\circ}$ ). La longitud de las amarras transversales fue de 11 m, y la longitud de las amarras oblicuas de 27.93 m.

El coeficiente de elasticidad (1.1) para las amarras



## 2.4 Sistema de video.

Para el análisis de los movimientos de una embarcación cuando actúa el oleaje, se utilizó un sistema de video en circuito cerrado para apreciar los movimientos debidamente. Ya que tales movimientos son muy rápidos y no se pueden observar a simple vista.

La figura (2.6) 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", videocasetera y monitor de televisión.

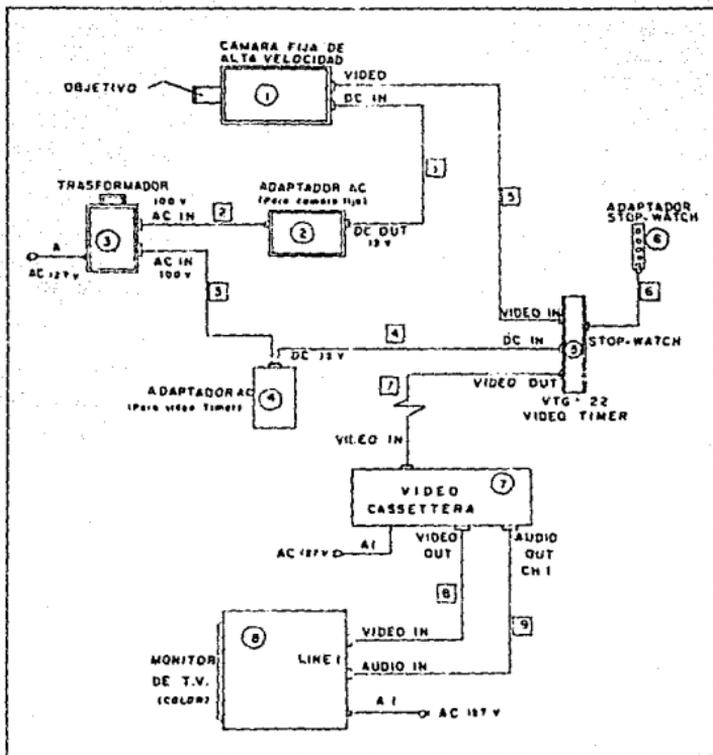


Fig. 2.4 Sistema de video para la medición de los movimientos.

Los números encerrados en un círculo indica, cada uno, los

Aparatos del sistema al conectarlos y los números encerrados en un cuadro indican el cable a utilizar para su conexión. Las letras A y A1 indican los cables de alimentación de corriente alterna (AC-127 volts) para todo el circuito.

## CAPITULO 3.

### CALIBRACION DEL MODELO.

La calibración del modelo consistió en verificar que no se presentará ningún fenómeno parásito durante el tiempo de realización de cada ensayo.

#### 3.1 Cálculo de la señal de oleaje irregular.

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

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

$$\eta_{(t)} = \sum_{m=1}^M a_m \cos(\omega_m \Delta t + z_m) \quad (3.1)$$

donde:

$\eta_{(t)}$  = Nivel de agua.

M = Número de componentes (más de 50).

$a_m$  = Amplitud de cada componente.

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

Para determinar los valores de la amplitud  $a_m$  y la frecuencia angular de cada componente ( $\omega_m$ ), se hace uso del

espectro frecuencial del oleaje irregular.

La figura (3.1) muestra el espectro frecuencial del oleaje irregular, para un caso típico.

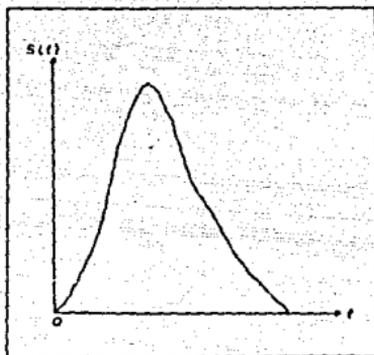


Fig. 3.1) Espectro frecuencial.

De la figura (3.1),  $S(f)$  se define como la densidad de la energía de la frecuencia ( $f$ ).

Entre la frecuencia angular ( $\omega$ ), el periodo ( $T$ ) y la frecuencia ( $f$ ) existen las siguientes relaciones:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$$

$$\sigma = \frac{2 \pi}{T} = 2 \pi f \quad (3.2)$$

Para decidir la altura de cada componente de oleaje se divide el espectro frecuencial en pequeñas áreas iguales como se indica en la figura (3.2), cada altura de oleaje puede escribirse según la siguiente ecuación:

$$\frac{H_1^2}{8} = \int S(f) df \quad (3.3)$$

donde:

$\int S(f) df$  = Areas pequeñas iguales.

$H_1$  = Altura del oleaje irregular de cada componente.

$f$  = Frecuencia en (1/seg).

Por lo anterior, la altura de ola de cada componente tiene igual valor.

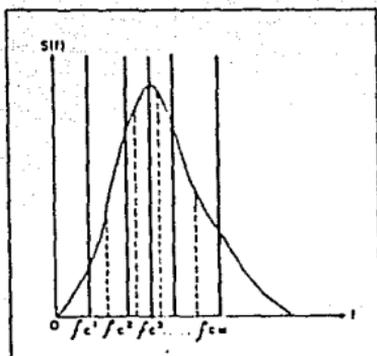


Fig. 3.2 División de los componentes.

La frecuencia de cada componente se determina a partir del momento cuadrado con respecto al origen de las coordenadas. Es decir, para cada Área pequeña dividida, la frecuencia representativa se calcula según la siguiente ecuación:

$$\int_{f_{c1}-\Delta f}^{f_{c1}+\Delta f} S(f) f^2 df = f_{c1}^2 \int_{f_{c1}-\Delta f}^{f_{c1}+\Delta f} S(f) df \quad (3.4)$$

donde:

$f_{c1}$  = Frecuencia representativa para el Área pequeña que se muestra en la figura (3.2).

Como el espectro frecuencial del oleaje irregular utilizado corresponde con el de Bretschneider-Mitsuyasu, el cual se expresa como sigue:

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-1} f_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp\left[-1.03(f_{1/3}/f)^4\right] \quad (3.5)$$

donde:

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

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

y sustituyendo la ecuación (3.5) en la ecuación (3.4), se puede obtener la frecuencia representativa de cada componente  $f_{(i)}$  como sigue:

$$f_{(i)} = \frac{1.056 \sqrt{H}}{T_{1/3}} \sqrt{\frac{P}{P \ln\left(\frac{H}{1-i}\right)}} \quad (3.6)$$

Donde:  $P$ , es la función de error que se expresa a continuación:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3.7)$$

En la ecuación (3.6) el valor de  $a$  puede calcularse con la ecuación (3.3) y el valor de  $b_m$  se puede calcular con las ecuaciones (3.4) y (3.6), pero  $b_m$  se puede calcular con la

altura del espectro. Para el cálculo se usan números aleatorios definidos entre 0 y 2 $\pi$ .

El nivel de agua  $h(t)$  de la ecuación (3.1), se transforma a la posición de la plancha  $U$  del generador de oleaje según la siguiente ecuación:

$$U(t) = \frac{1}{F} \eta(t) \quad (3.8)$$

donde:  $F$ , es la eficiencia del generador de oleaje. Que se puede expresar como sigue:

$$F = \frac{4 \sinh^2(kh)}{2kh + \sinh(2kh)} \quad (3.9)$$

donde:

$$k = \frac{2\pi}{L} = \text{numero de ola.}$$

$$h = \text{Profundidad del agua.}$$

$$L = \text{Longitud de la ola en una profundidad dada.}$$

El valor de esta posición  $U(t)$  cambia en un intervalo que está definido entre 0 y 0.975, donde el valor de 0.975 corresponde a la máxima posición de la plancha hacia adelante, 0.500 corresponde a la posición neutral, y 0 corresponde a la misma posición hacia atrás. Estos números se transforman a voltaje eléctrico de la señal.

### 3.2 Medición del oleaje experimental.

El sistema de medición de oleaje se muestra en forma esquemática en la figura (3.3), utilizándose los siguientes equipos:

#### a) Ultragrafo de tipo capacitivo.

Este equipo mide las variaciones del nivel del agua, transformandolas a una señal electrónica. El ultragrafo está compuesto de un amplificador y un sensor. El sensor se instala dentro del agua y el amplificador se coloca en la caseta de control.

#### b) Mecanismo de elevación.

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

#### c) Registrador térmico.

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

#### d) Registrador magnético.

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

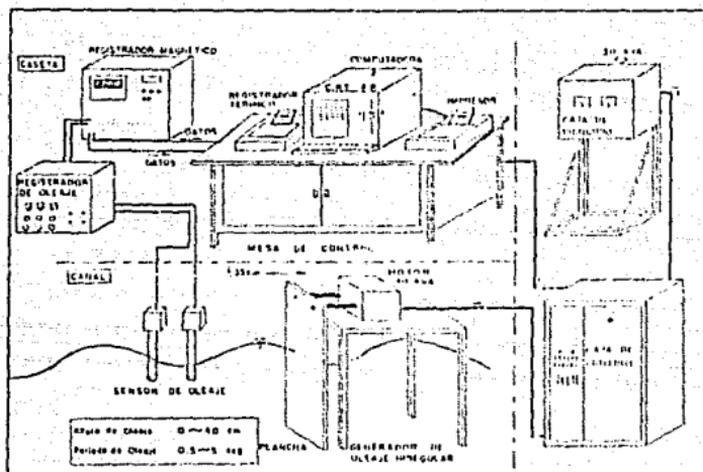


Fig. 3.3 Equipo de generación y medición del olraje.

Utilizando los equipos, anteriormente descritos, se realizó la medición del olraje.

La figura (3.4) muestra la ubicación de los tres sensores del ológrafo para medir la altura de la ola (H) en el canal de experimentación; los cuales se ubicaron en la zona donde se

coloca el barco expuesto al oleaje.

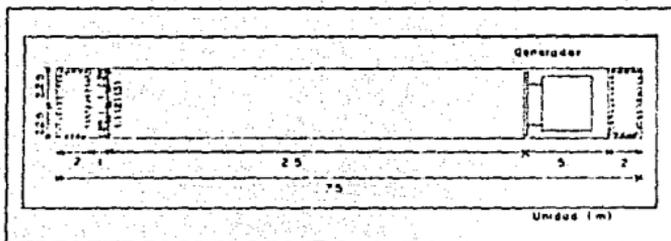


Fig. 3.4 Ubicación de los sensores del pirógrafo.

El primer sensor (1) se colocó a 1 m. del centro de gravedad hacia la proa, el segundo sensor (2) se colocó en el centro de gravedad del barco y el tercer sensor (3) se ubicó a 1 m. del centro de gravedad hacia la popa; como se observa en la figura. Por lo tanto, la distancia que existe entre la paleta del generador y la ubicación de los sensores es igual a la que hay entre el barco y la paleta.

En este experimento se generó oleaje irregular con las siguientes características: altura de ola significativa ( $H_{1/3}$ ) igual a 1.5 cm. y periodo de ola significativa ( $T_{1/3}$ ) igual a 1.3 seg.

Para la obtención de la altura de ola con oleaje irregular, el registro se llevó a cabo por medio del registrador magnético y este se transmite a una computadora para su análisis.

### 3.3 Calibración del oleaje irregular.

Para los ensayos con oleaje irregular, la señal generada fue para una altura mayor a 1.5 cm. (que corresponde a 10 cm. como dato de entrada para el cálculo del oleaje irregular por medio de la computadora). Como la altura de ola que se generó es mayor a la deseada (10 cm.), se redujo el voltaje de la señal por medio del "DIAL" (que se encuentra debajo de la mesa de control).

Si el valor del "DIAL" es igual a 350 mm, la altura de ola de entrada es de  $(H_{1/3} = 10 \text{ cm.})$ . De esta forma, al reducir el valor del "DIAL" (que ajusta el voltaje de la señal), se obtiene una altura de ola menor a la de entrada.

La tabla (3.1) muestra los resultados del experimento de la medición del oleaje irregular.

Tabla 3.1. Resultados de la medición del oleaje irregular.

Concepto	Dial	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Promedio
$H_{1/3}$ (cm)	28	1.37	1.34	1.30	1.34
	30	1.30	1.28	1.27	1.28
$\bar{H}$ (cm)	28	1.22	1.19	1.17	1.19
	30	1.19	1.15	1.15	1.16
$T_{1/3}$ (seg)	28	1.29	1.29	1.32	1.30
	30	1.31	1.29	1.31	1.30
$\bar{T}$ (seg)	28	1.13	1.11	1.12	1.12
	30	1.15	1.11	1.13	1.13

Como se observa en la tabla (3.1), las mediciones se llevaron a cabo con dos valores del "DIAL"; obteniendo el promedio de los tres sensores, para las diferentes características del oleaje.

Los dos valores promedio de  $H_{1/3}$ , sirvieron para obtener un valor del "DIAL" que diera un valor de  $H_{1/3}$  igual a 1.5 cm, obteniéndola mediante interpolación.

La figura (3.5) es la gráfica de los valores promedio de  $H_{1/3}$  contra el valor del "DIAL" de la tabla (3.1); de donde se obtiene el valor del "DIAL" igual a 78, que se utilizó en los experimentos para generar un valor de  $H_{1/3}$  igual a 1.5 cm.

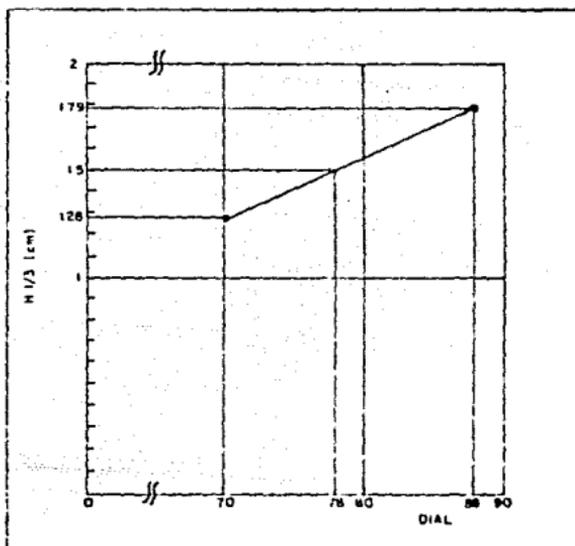


Fig. 3.5 Determinación del valor del "DIAL".

## CAPITULO 4.

### ENSAYOS DEL MOVIMIENTO DE BALANCEO.

El análisis de los movimientos del barco, expuesto a oleaje irregular, es muy detallado y extenso; por lo que se elige, dentro de los seis movimientos que presenta una embarcación, el que sea más desfavorable. Por lo tanto, como el movimiento de Balanceo tiene mayor influencia sobre el barco atracado, éste movimiento fue el que se tomó en cuenta para los ensayos.

#### 4.1 Condiciones del ensayo.

La tabla (4.1) muestra las condiciones con las que se realizó el experimento con oleaje irregular para el análisis del movimiento de Balanceo.

Tabla 4.1 Condiciones del ensayo.

CONCEPTO.	CARACTERISTICAS.
OLEAJE	$H_{1/3} = 1.8 \text{ cm.}$ $T_{1/3} = 1.3 \text{ seg.}$ $\alpha = 90^\circ$
CARGA.	Medio cargo.
MOVIMIENTO	Balanceo.

Como ya se mencionó anteriormente, en este ensayo se consideró solamente el movimiento de Balanceo por las causas ya mencionadas. Para la condición de carga se consideró "Media Carga", ya que en anteriores experimentos se observó que no hay diferencia en el período natural de Balanceo para las condiciones de carga mencionadas en el capítulo 2 inciso P.1. Con respecto al oleaje: éste fue irregular con las siguientes características:  $H_{1/3}=1.5$  cm,  $T_{1/3}=1.3$  seg. y  $\alpha=90^\circ$ .

#### 4.2 Metodología experimental.

El método para la medición del movimiento de Balanceo con oleaje irregular fue el siguiente:

- a) La posición de la cámara estuvo a 4 metros por arriba del modelo del barco y las filmaciones se realizaron tomando la vista superior de la embarcación.
- b) El punto de referencia para el movimiento de Balanceo correspondió a la parte superior de la antena, como se muestra en la figura (4.1).
- c) Al punto de referencia se le midió el desplazamiento horizontal.

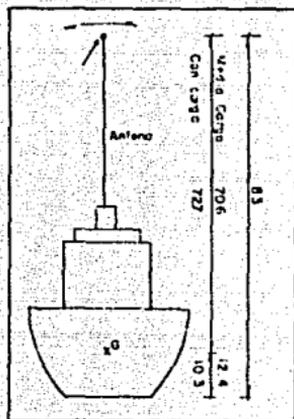


FIG. 4.1 Punto de referencia para la medición del movimiento de Balances.

Como el ángulo de desviación es un dato necesario para el análisis; este se calculó con la siguiente relación: se dividió el desplazamiento horizontal (dato obtenido en pantalla) entre la distancia vertical (medida desde el centro de gravedad (b) al punto de referencia, dependiendo de la condición de carga), obteniéndose los siguientes valores.

Media Carga            1 cm. = 1.70.6 rad.

Completamente Cargado    1 cm. = 1.72.7 rad.

Estos valores fueron los factores para obtener el desplazamiento horizontal real, afectado por el ángulo de desviación.

#### 4.3 Método de análisis.

La figura (4.2) muestra los pasos a seguir para el análisis del movimiento de Balanceo con oleaje irregular.

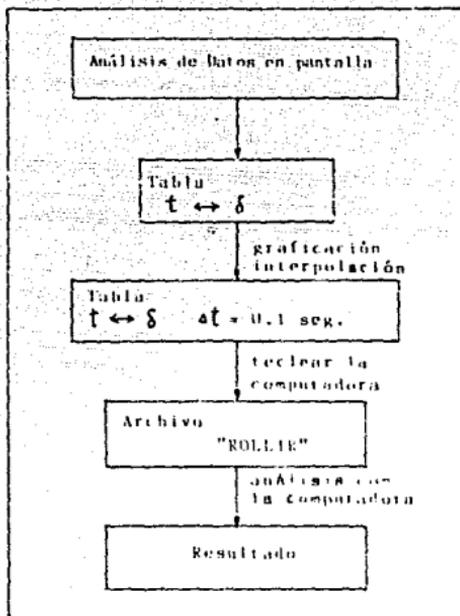


Fig. 4.2 Diagrama de flujo del análisis del movimiento de Balanceo.

Los movimientos de Balanceo grabados, se analizaron en la

pantalla obteniendo una tabla de tiempo contra desplazamiento; con intervalos de tiempo iguales a 0.1 seg., pero como tales intervalos no se mantuvieron constantes, se realizó una interpolación de los datos obtenidos en pantalla para obtener una nueva tabla con los datos para un intervalo de tiempo constante.

Con los datos ya interpolados, se procedió a generar un archivo de datos en la computadora, el cual sirvió para el análisis correspondiente; en donde se obtuvieron los resultados requeridos.

En la tabla (4.2) se muestra el archivo de datos, realizado por la computadora, para el movimiento de Balanceo con oleaje irregular. Estos datos se obtuvieron en pantalla, los cuales se afectaron por un factor de conversión igual a 0.002.



incide sobre el barco es perpendicular, el número de datos a analizar fue igual a 517.

## CAPÍTULO 5.

### ENSAYOS DE TENSION EN LAS AMARRAS.

El cálculo de la tensión en las amarras es una análisis importante, a la que, se determina la tensión máxima a la que estarán sujetas durante la acción del oleaje; este cálculo sirve para verificar si la tensión máxima presentada en las amarras, se encuentra dentro del límite permisible.

#### 5.1 Condiciones de ensayo.

La tabla 5.1 muestra las condiciones con las que se realizó el experimento con oleaje irregular para el cálculo de la tensión en las amarras.

Tabla 5.1 Condiciones de ensayo.

CONCEPTO.	CARACTERISTICAS.
TAJE	$H_s = 1.5 \text{ cm.}$ $V_s = 1.3 \text{ m/s.}$ $\alpha = 90^\circ$
CARGA	Medio carga.
CALCULO DE TENSIONES	Perpendicular $90^\circ$ Oblicua $45^\circ$

Al igual que para los ensayos del movimiento de Balanceo, los ensayos de tensión en las amarras se realizaron con oleaje irregular. La condición de carga que se consideró es la de "Media Carga". Para medir la tensión en las amarras se consideraron las restricciones reales, mencionadas en el capítulo 2 inciso 2.3.

### 5.2 Metodología experimental.

El método para la medición de la tensión en las amarras con oleaje irregular fue el siguiente:

- La posición de la cámara fue la misma que para los ensayos del movimiento de Balanceo.
- Los puntos de referencia que sirvieron para medir la tensión en las amarras se muestran en la figura (5.1).

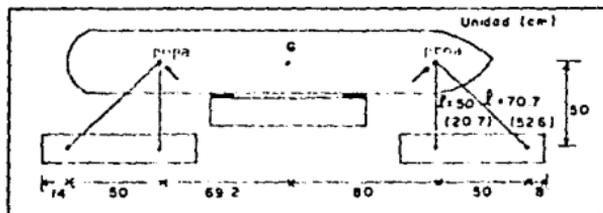


FIG. 5.1 Puntos de referencia para la medición de la tensión en las amarras.

Las flechas mostradas en la figura (5.1) indican los puntos que se filmaron en el modelo del barco.

La tensión se determinó para dos tipos de amarras; perpendicular y oblicua, en dos puntos del barco, proa y popa (ver figura (5.1)).

### 5.3 Método de análisis.

#### (1) Obtención de datos.

La figura (5.2) muestra el diagrama de flujo para obtener los archivos de datos necesarios para el cálculo y análisis de la tensión en las amarras.

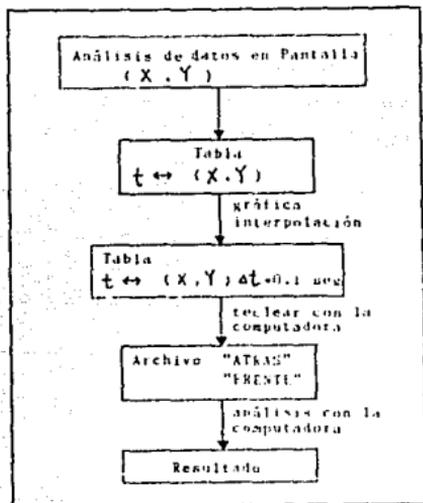


Fig. 5.2 Diagrama de flujo para archivar los datos leídos en pantalla.

Primeramente se realizó la lectura de datos en la pantalla por medio de un sistema de ejes coordenados y se obtuvo una tabla de desplazamiento (X,Y) contra el tiempo; con intervalos de 0.1 seg. durante 51.2 segundos.

Como los intervalos de tiempo tomados en pantalla no son constantes, fue necesario hacer una interpolación; obteniéndose con esto una nueva tabla de intervalo fijo de tiempo.

La tabla de datos obtenida, se tecléo en la computadora para obtener los archivos de datos; los cuales sirvieron para el análisis de la tensión en las amarras. El archivo denominado "ATRAS" indica el punto de popa del barco y el archivo llamado "FRENTE" el punto de proa.

(2) Obtención de la tensión en las amarras.

La figura (5.3) muestra el diagrama de flujo para la obtención de la tensión en las amarras.

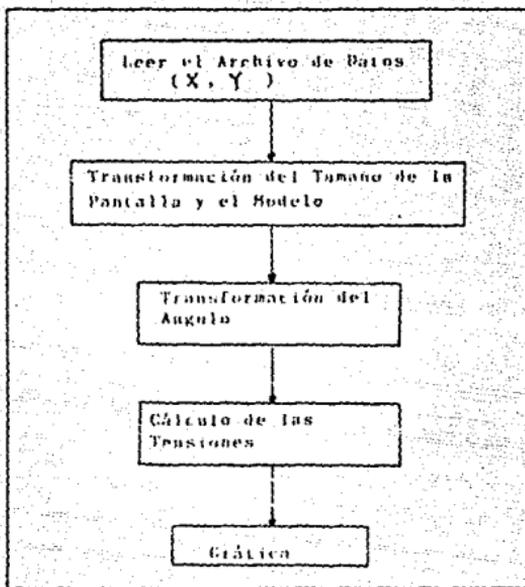


Fig. 5.3 Diagrama de flujo del programa para calcular y analizar la tensión en las amarras.

Primeramente, los archivos de datos obtenidos anteriormente (ver figura (5.2)), se leyeron en la computadora.

El programa para el cálculo de la tensión transforma la escala de los datos de pantalla a escala del modelo, lo anterior se realizó con el fin de obtener los resultados a la escala del experimento.

La lectura de datos en pantalla se tomó con respecto al

movimiento del barco; es decir, la posición de los ejes será en sentido perpendicular y longitudinal con respecto al barco. Si la lectura de datos no se hace en la forma descrita anteriormente, será necesario hacer una rotación de ejes. Esta rotación se explica más adelante.

Finalmente, se obtuvieron los resultados de la tensión con sus gráficas respectivas para su análisis.

La figura (5.4) muestra la manera en que se realizó la rotación de ejes cuando no se toma como referencia el movimiento del barco.

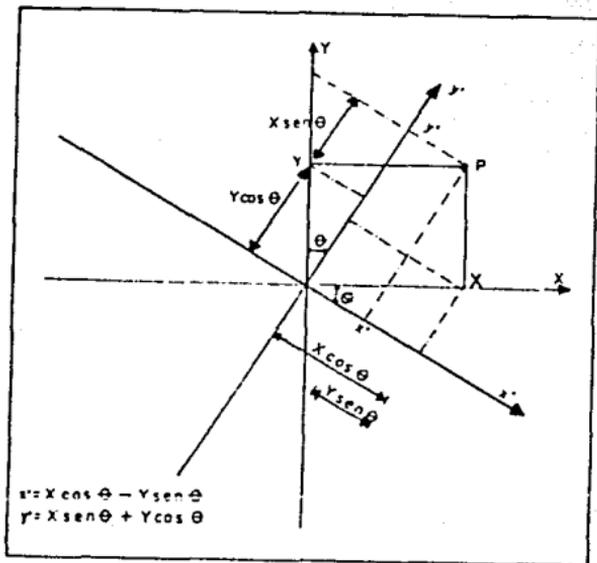


Fig. 5.4 Rotación de ejes.

Los valores leídos en pantalla se transformaron con las expresiones siguientes:

$$X' = X \cos\theta - Y \sin\theta$$

$$Y' = X \sin\theta + Y \cos\theta$$

donde:

X,Y = Son los valores leídos en pantalla.

X',Y' = Son los valores transformados.

## CAPITULO 6

### RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados obtenidos del movimiento de Balanceo y la tensión de las amarras de una embarcación atracada sujeta a oleaje irregular.

#### 6.1 Movimiento de Balanceo.

1) Amplitud y periodo del movimiento de Balanceo.

En esta parte se presentan los resultados de la amplitud y del periodo del movimiento de Balanceo obtenidos en el análisis con oleaje irregular.

Este análisis incluyó 512 datos con intervalos de tiempo de 0.1 seg. por lo que el tiempo de análisis del movimiento de Balanceo fue de 51.2 segundos (en modelo).

El valor del balanceo ya está transferido a la amplitud vertical en ambos lados del barco y se analiza en la misma forma que el oleaje (doble amplitud; es decir la altura del oleaje), con el método del "cruce de la línea cero hacia arriba" (zero-up-cross), midiendo la altura de la ola entre cresta y valle, además del periodo.

La tabla (6.1) muestra los resultados obtenidos para el movimiento de Balanceo con oleaje irregular.

Tabla 6.1 Resultados del movimiento de Balanceo.

NUMERO DE OLA	=	38	
HMAX(CM)	=	2.67	TMAX(SEG) = 1.36
H1/20(CM)	=	2.67	T1/20(SEG) = 1.36
H1/15(CM)	=	2.65	T1/15(SEG) = 1.32
H1/10(CM)	=	2.58	T1/10(SEG) = 1.31
H1/3(CM)	=	2.12	T1/3(SEG) = 1.35
HBAR(CM)	=	1.32	TBAR(SEG) = 1.32

Para este caso, los valores de (H) no indican altura, sino el desplazamiento vertical (amplitud) de ambos lados del barco debido al movimiento de Balanceo.

La amplitud vertical se obtiene multiplicando el valor del balanceo (en radianes) por la distancia de la mitad del ancho del barco.

Dentro de esta serie de datos se observaron 38 oleajes, que para este estudio representan la doble amplitud del balanceo.

Por lo tanto; la doble amplitud máxima (HMAX) fue igual a 2.67 cm, la doble amplitud significativa ( $H_{1/3}$ ) fue de 2.12 cm, y la doble amplitud promedio (HBAR) fue de 1.32 cm.

Como el número de oleajes no es su grande (igual a 38), el valor de  $H_{1/20}$  fue igual al valor máximo; los valores de  $H_{1/15}$  y  $H_{1/10}$  tampoco son muy confiables estadísticamente, por lo que, el valor de mayor confiabilidad corresponde al de  $H_{1/3}$ .

Por lo tanto, el cociente entre la doble amplitud significativa, la doble amplitud promedio fue:

$$\frac{H_{1/3}}{H_{BAR}} = \frac{2.12}{1.32} = 1.6$$

Este cociente fue muy parecido con los valores de los oleajes irregulares que se presentan en el campo y la teoría.

La distribución de la doble amplitud del balanceo fue semejante con la distribución de la altura del oleaje que actúa sobre el barco. En cambio; en la distribución de los datos de los periodos, los valores fueron muy parecidos entre el periodo significativo ( $T_{1/3}=1.35$  seg.) y el periodo promedio ( $T_{BAR}=1.32$  seg.).

Ahora, comparando los valores del oleaje y del balanceo se tiene:

$$\begin{array}{l} \text{Oleaje} \longrightarrow T_{1/3} = 1.1\bar{T} \quad ; \quad H_{1/3} = 1.6H \\ \text{Balanceo} \longrightarrow T_{1/3} = 1.0\bar{T} \quad ; \quad H_{1/3} = 1.6H \end{array}$$

Generalmente, cuando se presentan alturas grandes en un oleaje se tienen periodos grandes, sin embargo, en el caso del movimiento de Balanceo no sucede lo mismo; ya que, al aumentar la altura de ola, el periodo se mantiene constante o la variación que sufre este es muy pequeña.

De la tabla (3.1) se obtiene que el cociente entre  $(H_{1/3})$ ,  $(\bar{H})$  de cada oleaje irregular medido, es aproximadamente de 1.5 cm. y el cociente entre  $(T_{1/3})$ ,  $(\bar{T})$  es de 1.15 seg. en el experimento.

(\*) LOS VALORES DE 1.1 Y 1.6 SE OBTIENE DE LA TEORIA DEL OLAJE IRREGULAR MENCIONADA EN EL TERCER VOL. 2 CAP. 1, INDICADO EN LA BIBLIOGRAFIA.

## (2) Espectro frecuencial.

El espectro frecuencial es el resultado de la superposición infinita de ondas senoidales, con diferentes periodos. Este indica cuanta energía corresponde a cada onda senoidal (o a componente) para cada frecuencia.

Para el cálculo del espectro frecuencial, es necesario cambiar los datos analógicos (obtenidos con anterioridad) a digitales.

La figura (6.1) muestra la comparación entre el espectro frecuencial del oleaje y del movimiento de Balanceo.

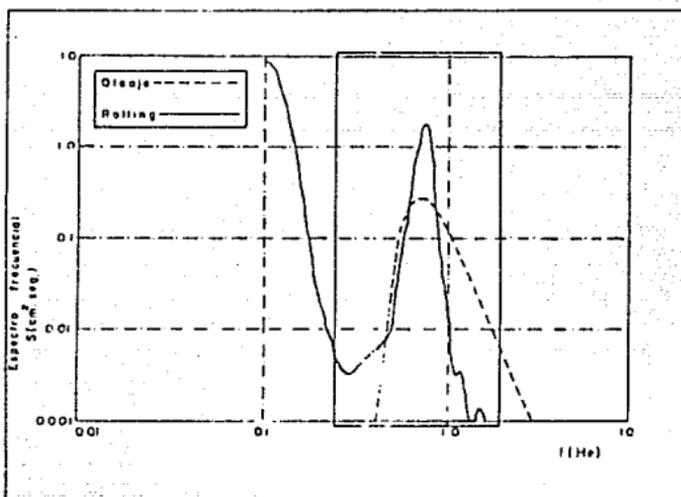


Fig. 6.1 Espectro frecuencial del oleaje y del movimiento de Balanceo.

En esta figura, el eje horizontal indica el valor de la frecuencia en Hertz ( $f(\text{Hz})$ ) y el eje vertical muestra el valor del espectro (densidad de energía en cada frecuencia) en ( $\text{cm}^2/\text{seg}$ ).

El área de la curva muestra la energía del movimiento o del oleaje, además se observa que para valores muy pequeños o grandes de la frecuencia no resulta un análisis correcto. Por lo que se recurre a un intervalo que sea confiable. Este intervalo se define empíricamente tomando en cuenta un rango de frecuencia que se obtiene observando el tiempo total del análisis y el intervalo de tiempo. El intervalo observado estuvo entre  $(0.25(\text{Hz}) - 1.2(\text{Hz}))$  que equivale a  $(4(\text{seg}))$  y  $(0.5(\text{seg}))$  respectivamente; el cual, se muestra en la figura (6.1) dentro del rectángulo.

También, se observa que la energía del movimiento de Balances se concentra en la banda más angosta de la frecuencia con valores de  $0.65 \text{ Hz}$  ( $1.5 \text{ seg}$ ) y  $0.9 \text{ Hz}$  ( $1.1 \text{ seg}$ ).

Por lo que, el valor de densidad del movimiento de Balances es más grande que la densidad de energía del oleaje. Los componentes entre este intervalo muestran que el movimiento de Balanceo es mayor al movimiento del agua (oleaje).

Para otros valores de frecuencia, fuera de dichos intervalos, el oleaje es mayor al movimiento de Balanceo; esto se debe a la resonancia del movimiento que se presenta en ese intervalo de tiempo.

El valor máximo de las dos curvas es:

Para el oleaje	_____	$0.3 \text{ cm}^2 \cdot \text{seg}$
Para el Balanceo	_____	$1.8 \text{ cm}^2 \cdot \text{seg}$

Por lo tanto, se observa que el valor máximo del Balanceo es seis veces mayor que el valor máximo del oleaje. Y como el valor de la energía es proporcional al cuadrado de la amplitud, se tiene que el valor de seis es igual a  $\sqrt{6}$  o igual a 2.4; que es el cociente de amplitud.

#### 6.2 Tensión en las amarras perpendiculares.

Para el cálculo de la tensión en las amarras perpendiculares se tiene que al multiplicar el desplazamiento vertical (V) por el coeficiente K, que es igual a 11.24 (qf/cm); cuando la amarra de V es negativa, se considera que la tensión es igual a cero.

##### (1) Tensión en el punto de proa.

La tabla (6.2) muestra los resultados de la tensión en la amarra perpendicular que se presenta en la proa.



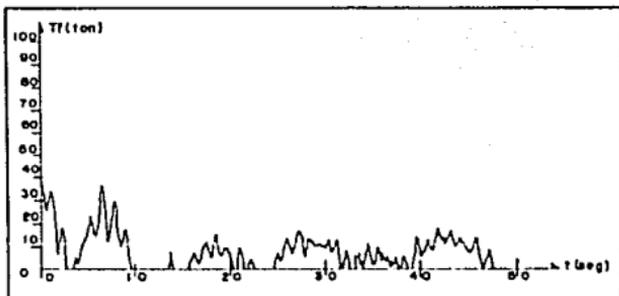


Fig. 6.2 Gráfica de la tensión de la amarra perpendicular en la proa.

La figura (6.2) muestra la tensión obtenida en la amarra perpendicular por la acción del oleaje irregular; medida a partir del desplazamiento del punto de amarra en la proa, del modelo del barco. El eje horizontal muestra el tiempo en segundos y el eje vertical la tensión en toneladas; en donde se observan las siguientes características:

- a) La tensión máxima registrada es de 38 gf. (38 ton. en prototipo). Como se mencionó, en las características de las amarras, la tensión máxima permisible de la amarra es de 100 ton, por lo que el valor de 38 ton. obtenido para las condiciones de oleaje ( $H_{1/3}=1.5$  m y  $T_{1/3}=13$  seg. en prototipo) no representa peligro alguno en las amarras, dependiendo ésta seguridad de las condiciones del oleaje.

b) El intervalo que existe entre cresta y cresta, es aproximadamente a 1.3 seg. que corresponde al periodo significativo del oleaje que actua y al periodo natural del movimiento de Balanceo.

c) Se observan también grupos de crestas que se presentan cada 10 seg, las cuales corresponden aproximadamente a los periodos naturales de Deriva y Guifada que tienen un valor de 13 seg. y 8.6 seg. respectivamente (en prototipo). Esto indica que la tensión tiene una influencia de esos movimientos.

(2) Tensión en el punto de popa.

La tabla 16.3) muestra los resultados de la tensión para el punto de popa en la amarra perpendicular.

Tabla 6.3 Resultados de la tensión de la amarra perpendicular en la popa.

11.41	11.41	75.24	18.46	19.04	12.85	42.77	42.11	17.08	12.01
21.58	18.84	12.46	7.49	6.17	4.76	7.41	6.83	5.98	7.41
4.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	5.41
7.11	8.24	4.82	11.14	11.22	14.87	18.68	19.26	20.58	22.41
19.84	17.94	11.55	11.96	10.18	11.61	19.26	22.11	28.70	15.16
24.47	21.91	24.79	24.09	13.66	5.25	1.54	0.00	2.86	56.16
16.70	20.50	22.11	24.21	19.76	14.71	9.66	0.22	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.10	14.04	17.41	21.84	24.10	24.94	21.55	22.40	22.40	24.78
26.69	27.78	10.85	12.67	13.91	12.97	10.91	29.26	27.82	20.67
0.00	0.00	29.11	27.51	25.04	22.77	28.60	21.82	16.78	11.11
11.04	8.22	7.17	4.25	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.93	4.78	5.44	6.94
5.41	4.14	2.51	4.19	5.77	9.49	13.25	17.41	20.15	20.42
19.25	17.73	15.19	15.92	12.57	11.47	2.16	15.41	17.11	11.11
21.00	21.51	21.11	19.99	17.84	12.91	9.12	0.16	1.15	0.11
0.78	1.22	0.96	9.80	9.92	9.04	5.45	0.00	0.00	0.00
6.00	1.00	0.00	4.05	8.52	14.32	15.04	17.09	17.16	11.71
15.59	14.66	11.88	14.11	16.77	19.01	21.80	24.18	27.14	28.10
28.54	27.41	25.18	22.99	26.20	19.15	19.25	19.58	20.09	20.18
21.70	21.15	20.86	20.10	18.77	17.15	14.44	12.14	9.72	8.21
7.26	8.17	8.09	10.84	8.97	6.58	1.48	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.1	5.23	55.58	57.18	60.18	64.27	61.19	18.75	71.29	75.12
27.12	29.07	80.05	82.11	84.11	85.00	85.27	82.14	85.46	82.95
28.87	25.88	21.27	22.09	22.28	21.44	20.79	22.99	20.18	22.11
52.18	40.16	40.08	15.00	11.61	11.80	29.06	27.11	24.18	17.11
9.97	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	2.62	5.75	6.28	11.66
11.17	14.26	11.61	12.18	12.82	11.89	12.50	14.96	17.28	21.88
45.47	26.07	25.41	24.50	22.27	20.01	18.29	16.82	17.04	18.09
19.60	20.32	20.11	19.16	17.61	14.81	14.16	11.15	11.40	10.16
10.82	6.50	6.79	4.17	2.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.42	44.15	47.97	45.88	45.88	50.21	51.48	54.11	58.05	62.54
67.41	72.51	76.68	79.72	79.68	78.07	75.15	72.24	71.55	71.51
71.12	75.11	77.20	76.25	74.81	72.16	70.42	66.20	60.78	51.11
49.65	46.28	43.66	42.14	40.74	38.97	36.12	32.90	29.66	21.01
16.87	10.65	4.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	2.56	1.74	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	2.11	5.19	7.94	7.63	4.78	2.41	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	2.42	6.82	12.12	15.99	19.40	22.67	24.64	25.11
7.57	28.78	30.85	12.81	14.44	16.21	18.05	41.12	43.31	45.75
1.67	44.72								

En la figura (6.3) se muestra la tensión medida en la amarra perpendicular de la popa del barco con oleaje irregular.

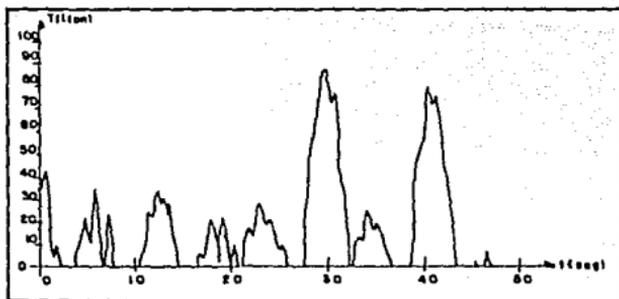


Fig. 6.3 Gráfica de la tensión de la amarra perpendicular en la popa.

Las observaciones en ésta gráfica son las siguientes:

- La tensión máxima obtenida es de 88 gf, que en prototipo corresponde a 88 ton. Este valor se acerca a la tensión máxima permisible, por lo que hay que tener cuidado, ya que, representa peligro en el momento en que está expuesta la amarra a la acción del oleaje.
- El intervalo entre cresta y cresta, también corresponde al periodo significativo del oleaje y al periodo natural del movimiento de Balanceo.
- Con respecto a los grupos de crestas observadas; estas se presentan aproximadamente cada 7 seg. u 8 seg. periodos que corresponden al movimiento de Guñada, que tiene un valor de 8.55 seg. en prototipo. Además, se tiene una influencia de los movimientos de Deriva y Vaiven pero de

menor importancia.

- d) Las tensiones máximas se presentan en el intervalo de tiempo de 30 a 40 segundos, ya que en los otros intervalos las tensiones son de menor valor.
- (3) Comparación entre los valores de la tensión de las amarras perpendiculares de proa y popa.
- a) El valor máximo de las tensiones es:

En la proa igual a 38 qf.

En la popa igual a 88 qf.

Esta diferencia en el valor de la tensión se debe a que en el punto de popa se tiene una gran influencia del movimiento de Guiñada y la geometría del barco influye también.

- b) El intervalo de 1.3 seg, entre cresta y cresta, se presenta en los dos puntos, es decir, las características del oleaje actuante y el movimiento de Balanceo son similares en ambos puntos.
- c) En el punto de proa los movimientos que más influyen son los de Deriva y Guiñada; en el punto de popa influye el movimiento de Guiñada.

### 6.3 Tensión en las amarras oblicuas.

Para la tensión de las amarras oblicuas, como el ángulo es igual a  $45^{\circ}$ , se consideran dos desplazamientos; uno para X y otro para Y, que se multiplican por el coeficiente K igual a 4.581 qf/cm. (en modelo). Al igual que en las amarras



La figura (6.4) muestra la gráfica de la tensión obtenida para la amarra oblicua de la proa del barco con oleaje irregular.

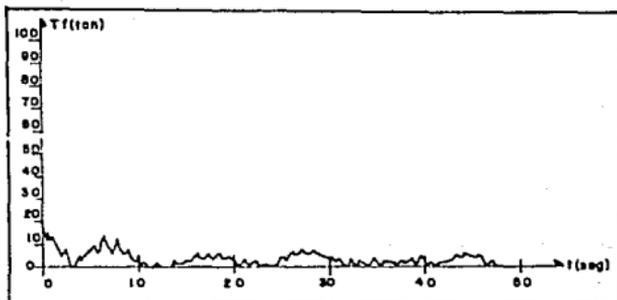


Fig. 6.4 Gráfica de la tensión en la amarra oblicua de proa.

Las observaciones que se obtienen de la figura son las siguientes:

- a) La tensión máxima obtenida es igual a 18 qf, que en prototipo corresponden a 18 ton; por lo que este valor no representa problema alguno durante la acción del oleaje, ya que, es menor a la tensión máxima permisible.
- b) El intervalo que se presenta entre cresta y cresta es aproximadamente de 1.3 seg, que corresponde al periodo del oleaje que actúa, al movimiento de balances.
- c) También se observan grupos de crestas; el intervalo en que

se presentan es un poco mayor al observado en la figura 16.31. La causa de esto, se debe a que además de la influencia de los movimientos de Deriva y Guifada, también actúa el movimiento de Vaiven, el cual tiene un periodo mayor que los anteriores movimientos y su valor es de 16.6 seg. (en prototipo).

(2) Tensión en el punto de popa.

La tabla (6.5) muestra los resultados de la tensión que presenta la amarra oblicua de popa.



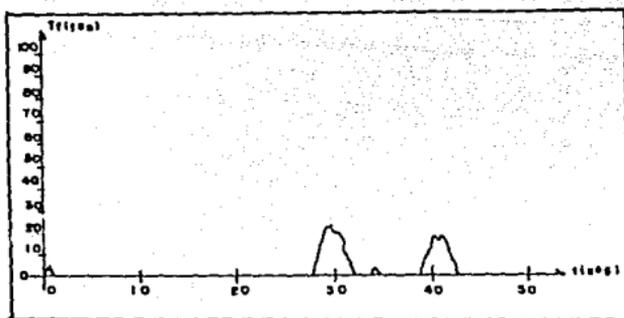


Fig. 6.5 Gráfica de la tensión en la amarra oblicua de popa.

De la figura se hacen las siguientes observaciones:

- a) La tensión máxima obtenida es de 22 gf, que corresponde a 22 ton. en prototipo. Este valor, al igual que los anteriores, es menor a la tensión máxima permisible (que es igual a 100 ton.) y, por lo tanto, no representa riesgo alguno durante la acción del oleaje.
- b) La tensión máxima al igual que en la amarra perpendicular del punto de popa, se localiza en el intervalo de 30 a 40 segundos. Además, en los intervalos complementarios la amarra no sufre tensión alguna.
- (3) Comparación entre los valores de las tensiones de las amarras oblicuas de la proa y de la popa.

a) El valor máximo de las tensiones es:

En la proa igual a 18 gf.

En la popa igual a 22 gf.

Se observa que entre éstos dos valores hay poca diferencia, esto se debe en parte a la geometría del barco.

b) En la amarra de proa ; existe influencia de tres movimientos, los cuales son: Deriva, Vaiven y Guiñada. En la amarra de popa solo influye un movimiento, que es el de Guiñada.

c) La amarra de proa trabaja en forma constante, mientras que la amarra de popa solo en algún intervalo de tiempo, ya que en otros intervalos la tensión es igual a cero.

(4) Comparación del comportamiento entre las amarras perpendiculares y oblicuas.

a) La tensión máxima se presenta en la amarra perpendicular de popa; esto se debe a que existe una diferencia del valor del coeficiente K con respecto al de las amarras oblicuas y, además, hay una gran influencia del movimiento de Guiñada en la amarra perpendicular de popa.

b) Las amarras que más trabajan son las perpendiculares; esto se debe a la influencia del movimiento de Guiñada, ya que al incidir el oleaje sobre el barco, éste se acerca más a los muelles y las amarras de proa (oblicua y perpendicular) dejan de trabajar, lo cual da lugar a que la popa del barco gire y entonces trabajen más esas amarras. Cuando el barco tiende a regresar, también trabajan las amarras de proa, pero las amarras oblicuas en menor magnitud que las perpendiculares.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES.

Después de haber analizado los diferentes resultados en los ensayos efectuados, es procedente establecer las siguientes conclusiones:

- a) Con la medición de la altura de la ola en los ensayos, se comprueba que existe uniformidad en la altura en la dirección perpendicular al oleaje en el canal experimental.
- b) En el reporte técnico No. 6 del Laboratorio de Hidráulica Marítima se analizaron las características del movimiento de Balanceo contra el periodo del oleaje, en el cual se concluyó que el fenómeno de resonancia se presenta en el periodo de 13 seg; además, las condiciones de carga tienen poca diferencia entre si, es decir, que no influye de una manera notoria la condición de carga en que se encuentre el barco.
- c) En el análisis de balanceo con oleaje irregular se comprobó que el periodo de resonancia es aproximadamente de 13 seg. al igual que en los ensayos con oleaje regular.
- d) En el análisis de balanceo con oleaje irregular, la distribución de la doble amplitud del movimiento de

Balaceo es similar a la distribución de la altura del oleaje; sin embargo, la distribución del periodo es diferente entre el movimiento y el oleaje, debido a que se concentra en el movimiento de Balanceo.

e) En el espectro frecuencial se observa que la energía del movimiento de Balanceo se concentra en su periodo de resonancia, esto corresponde con el resultado de los ensayos con oleaje regular.

f) En el análisis de la tensión de las amarras con oleaje irregular, se observó que las amarras perpendiculares presentan mayor tensión que las amarras oblicuas.

La tensión tiene dos componentes de su periodo: uno es un periodo corto que corresponde al periodo del oleaje o al movimiento de Balanceo, el otro es un periodo largo que corresponde al periodo de resonancia de los movimientos de Deriva, Vaiven y Guiñada en su dimensión de 100 segundos, en prototipo, y aparece en el registro de la tensión en forma de grupo de crestas.

g) En el ensayo de la tensión de las amarras no se observaron valores mayores a la tensión máxima permisible, que es de 100 ton.

h) Como las crestas en el registro de la tensión corresponden al movimiento de Balanceo y esa condición del experimento, en su periodo y dirección del oleaje, muestra el máximo movimiento de Balanceo; además de que va se tiene información acerca de que la condición de carga no influye de manera considerable en el movimiento de Balanceo,

entonces se puede concluir que esas condiciones son las más desfavorables para las tensiones de la amarras con una altura significativa del oleaje de  $H_{1/3}=1.5$  m. en prototipo.

## BIBLIOGRAFIA.

1. Nagai Toshiniko: " TEORIA BASICA SOBRE MOVIMIENTO DE FLOTADORES ". texto vol. 10 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.T.-J.I.C.A., México, D.F., Marzo de 1988.
2. Sato Shoji, Nagai Toshiniko: " METODO DE OPERACION DEL GENERADOR DE OLEAJE IRREGULAR EN EL TANQUE PLANO Y LOS EQUIPOS PARA MEDIR Y REGISTRAR EL OLEAJE REGULAR E IRREGULAR EN LOS EXPERIMENTOS ". nota vol. 2 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.T.-J.I.C.A., México, D.F., Marzo de 1987.
3. Sato Shoji: " CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS UNDA PROGRESIVAS ". texto vol. 1 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.T.-J.I.C.A., México, D.F., Noviembre de 1985.
4. Tomotsuka Takayama: " APUNTES DE LAS CLASES IMPARTIDAS SOBRE EL MOVIMIENTO DE FLOTADORES ", en el Laboratorio de Hidráulica Marítima, D.G.O.M. S.C.T., México, D.F., Agosto de 1987.
5. "MANUAL PARA EL MANEJO DE LA MICROCOMPUTADORA AMICS 815", nota vol. 1 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.T.-J.I.C.A., México, D.F., Diciembre de 1980.

6. Palmas A. I., Flores A. F. J., Torres O. V.: " ENSAYOS PRELIMINARES SOBRE LOS MOVIMIENTOS DEL BARCO ATRACADO ", reporte técnico No. 6 del Laboratorio de Hidráulica Marítima, D.G.O.M. S.C.I., México, D.F., Octubre de 1987.
7. Palmas A., Isalas, Torres O. Valente: " EXPERIMENTO SOBRE EL MOVIMIENTO DEL BARCO ATRACADO CON OLEAJE REGULAR E IRREGULAR ", reporte técnico No. 7 del Laboratorio de Hidráulica Marítima, D.G.O.M. S.C.I., México, D.F., Abril de 1988.
8. Sorima Takeshi : " PROPIEDADES GENERALES DEL OLEAJE IRREGULAR ", texto vol. 2 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.I.-J.I.C.A., México, D.F., Diciembre de 1985.
9. Sato Shoji, Nagai Yoshitiko: " PROGRAMA PARA GENERAR Y ANALIZAR SEÑALES DE OLEAJE IRREGULAR ", texto vol. 3 del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario, D.G.O.M. S.C.I.-J.I.C.A., México, D.F., Enero de 1986.