



Instituto Panamericano de Ingeniería Naval

Instituto Pan-americano de Engenharia Naval

Pan-american Institute of Naval Engineering

XI CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERIA NAVAL, TRANSPORTE MARITIMO E INGENIERIA PORTUARIA.

DISEÑO DE UN SIMULADOR PARA UN CENTRO DE ENTRENAMIENTO

PAPER Nº **24**

CRISTIAN JOHNSON ARANDA
CHILE

DISEÑO DE UN SIMULADOR PARA UN CENTRO DE ENTRENAMIENTO

AUTOR: *Cristian Roberto Johnson Aranda*

Teniente 2º de la Armada de Chile

Ingeniero Naval Mecánico, Buzo de Salvataje.

1983 Encargado de Calderas en un Destructor tipo Summer

1984 Ingeniero de cargo de una Barcaza de transporte mediano.

1985 a 1987 Curso de Ingeniería Naval con mención en mecánica en la Escuela de Ingeniería Naval de la Armada de Chile.

1986 a 1987. Curso de Buceo de Salvataje en la Escuela de Ingeniería Naval de la Armada Chilena.

1988 y 1989 Ingeniero de cargo de un caza submarinos.

COMPENDIO

El presente trabajo tiene como finalidad establecer la factibilidad técnica y económica de construir el modelo a escala de un buque, destinado a la instrucción.

Para lo cual se determinó las características fundamentales que debería poseer el modelo, junto a los elementos auxiliares necesarios para su operación.

Efectuando el diseño del simulador, se cotizó un prototipo del modelo, determinando que es factible técnicamente construirlo y altamente rentable en comparación a adquirirlo en el extranjero, ya que su costo corresponde al 3,8 % del modelo que comercializa Inglaterra.

INTRODUCCION

1.1.- Prefacio

La experiencia obtenida por el personal especialista en control de averías que han efectuado cursos de entrenamiento en el extranjero ha permitido detectar que, utilizando un simulador de estabilidad se logra aumentar el nivel de entrenamiento en la aplicación de medidas correctivas y, fundamentalmente, existe un mejor aprovechamiento por parte de los alumnos tanto en la velocidad de aprendizaje como en la verdadera asimilación de los problemas de estabilidad que se producen en un buque intacto o en un buque averiado.

1.2.- Objetivos

Los alumnos, al trabajar en el simulador de estabilidad, deberán salir preparados para alcanzar las siguientes metas :

- a) Predecir los resultados lógicos de los efectos de las averías sobre la estabilidad estática en un buque.
- b) Evaluar la condición transiente y final de la estabilidad de un buque después de una avería y para un buque intacto.
- c) Lograr un entrenamiento apropiado en las medidas inmediatas a tomar para mejorar la estabilidad de un buque averiado.
- d) Verificar la posición del centro de gravedad de un buque, desarrollando el experimento de inclinación.

Con el propósito de lograr esto, se debe cumplir el siguiente objetivo: "Contar con un modelo a escala de un buque, que tenga los accesorios y ayudas a la instrucción apropiados para permitir la simulación de situaciones reales de la estabilidad y su posterior evaluación y corrección.

1.3.- Antecedentes.

Dado que en nuestro país no existe investigación ni desarrollo del tema, el único curso de acción vigente sería el de adquirir un simulador de estabilidad en el extranjero a un precio cercano a las 37.500 libras.

Este trabajo pretende plantear una alternativa más conveniente.

CRITERIOS PARA DEFINIR EL MODELO

2.1.- Generalidades.

Para determinar la forma del casco, sus dimensiones y su compartimentación interna, se recopiló los requerimientos planteados por el Centro de Entrenamiento de la Escuela de Ingeniería Naval de la Armada Chilena, los profesores de estabilidad y la experiencia aportada por personas que han conocido simuladores similares en el extranjero, lo que se resume de la siguiente forma :

- a) Bajos tiempos en la preparación de los ejercicios, de modo que se puedan realizar varias experiencias en una hora de clases.
- b) Fácil de achicar e inundar, ya que hay modelos con maniobras muy complicadas.
- c) Ausencia de elementos complejos que inutilicen al modelo si fallan o requieran mantención especializada.
- d) Tamaño apropiado para un auditorio, de modo que sea fácil visualizar los efectos de las inundaciones y la toma de mediciones.

- e) Compartimentación interna completa (referida a todas las configuraciones de estanques y departamentos existentes).
- f) Fácil de mantener para que no requiera un encargado en forma permanente preocupado de la mantención.
- g) Líneas del casco tradicionales para que no existan fenómenos particulares en relación a su estabilidad.
- h) Buque conocido para que sea de fácil familiarización.

2.2.- Casco.

2.2.1.- Tipo de casco.

En el caso de que no se quiera construir un modelo en particular, es conveniente analizar los siguientes puntos:

- a) El buque debe poseer una amplia información en relación a la construcción y forma del casco.
- b) Conocido por la mayoría de los usuarios para permitir una rápida familiarización con el modelo.
- c) Debe poseer líneas tradicionales, de modo que no existan fenómenos particulares en relación a su estabilidad.
- d) Buque moderno para obtener un mayor horizonte de vida útil al proyecto, por la vigencia del modelo.

2.2.2.- Material de Construcción.

Se recomienda construir el modelo en plástico reforzado con fibra de vidrio por presentar las siguientes ventajas en relación a la madera y el acero :

- a) Menor costo de construcción, mantención y reparación.
- b) No es afectado por el agua, por lo que no se abre, pudre o raja como los cascos de madera.
- c) Son secos, por ser homogéneos, luego no se separan en las puntas ni se hacen vías de agua.
- d) No se oxidan ni corroen.
- e) No están sometidos a la acción galvánica.
- f) No absorben agua, luego no aumentan su propio peso como lo haría un casco de madera al botarlo al agua.
- g) No es necesario pintar el casco para su conservación.

2.3.- Dimensiones del Modelo.

2.3.1.- Leyes de Similitud del buque y su modelo.

Para que un buque y su modelo sean dos sistemas semejantes, deben cumplir con las siguientes condiciones :

- a) Similitud geométrica: el buque y su modelo deben ser geoméricamente semejantes.
- b) Similitud cinemática : el flujo alrededor del buque y de su modelo deben ser semejantes.
- c) Similitud dinámica : las fuerzas que actúan sobre el buque y su modelo deben ser semejantes.

Dado que el modelo sólo está proyectado para que se efectúen en el pruebas estáticas en una

piscina, es de interés en este estudio la similitud geométrica y dinámica, aunque esta última referida sólo a las fuerzas de boyantez y gravedad.

La similitud geométrica significa que todas las dimensiones lineales del buque y de su modelo están en una proporción constante. Esta proporción entre las dimensiones lineales, o sea el factor de proporcionalidad se llama la escala del modelo (λ) que está definida de la siguiente forma :

$$\lambda = \frac{L}{l_m} = \frac{B}{b_m} = \frac{T}{t_m}$$

(2.1)

donde : L, B, T = eslora, manga y calado del buque.
 l_m, b_m, t_m = eslora, manga y calado del modelo.

Mediante un análisis dimensional es fácil comprobar que de la ecuación (2.1) sigue que las áreas de superficie del buque y de su modelo están relacionadas por λ^2 y los volúmenes por λ^3 .

La similitud geométrica, aplicada estrictamente, significa que la rugosidad de la superficie del casco (las juntas de las planchas, la rugosidad de la pintura, etc.) se debería reproducir a la escala correspondiente al modelo. En la práctica, esto no es posible. Primero, la rugosidad del casco no es nunca claramente definida y suponiendo que lo sea, prácticamente es imposible reproducir esta rugosidad a una escala muy reducida. Luego, el modelo se debe construir con el casco técnicamente liso, aunque para este modelo no influye si presenta otra rugosidad, ya que esto afecta principalmente a la resistencia de fricción lo que no será evaluado.

Sobre las similitud dinámica, es necesario determinar la relación entre los desplazamientos (pesos) del buque y de su modelo.

El desplazamiento es el producto del volumen del casco y del peso específico del agua, luego.

$$\frac{\Delta}{\Delta_m} = \frac{\nabla}{\nabla_m} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_m} = \frac{\nabla}{\nabla_m} = \lambda^3$$

(2.2)

Esto se debe a que γ/γ_m es una constante independiente de la escala del modelo.

El peso es la fuerza ejercida sobre un cuerpo por el campo de gravedad de la tierra. Esto significa que las fuerzas que obedecen a la ley de comparación establecida por William Froude están relacionados también con λ^3 .

La masa es el cociente del peso y de la aceleración de gravedad "g", en este caso :

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\Delta/g}{\Delta_n/g_n}$$

pero $g = g_n$ luego

$$\frac{M}{M_n} = \frac{\Delta}{\Delta_n} = \lambda^3$$

(2.3)

El mismo resultado se obtiene por análisis dimensional si se considera que la masa es el cociente de la fuerza y la aceleración.

$$\begin{aligned} \text{Finalmente partiendo de : } L &= \lambda \\ T &= \sqrt{\lambda} \\ M &= \lambda^3 \end{aligned}$$

y usando el análisis dimensional, se llega que para la similitud dinámica, las principales cantidades del buque y su modelo están relacionados como se muestra en la tabla 2.1.-

2.3.2.- Cálculo de las dimensiones del modelo.

Tomaremos como ejemplo un buque con las siguientes dimensiones :

TABLA 2.1

RELACIONES ENTRE LA CANTIDAD FISICA Y LA ESCALA LINEAL DEL MODELO

<u>Cantidad Física</u>	<u>Dimensión</u>	<u>Escala</u>
Longitud	L	λ
Tiempo	T	$\lambda^{0,5}$
Masa	M	λ^3
Superficie	L ²	λ^2
Volumen	L ³	λ^3
Fuerza	M * L * T ⁻²	λ^3
Densidad	M * L ⁻³	1
Peso Específico	M * L ⁻² * T ⁻²	1
Momento de Inercia	M * L ²	λ^5
Velocidad	L * T ⁻¹	$\lambda^{0,5}$
Velocidad Angular	T ⁻¹	$\lambda^{-0,5}$
Revoluciones	T ⁻¹	$\lambda^{-0,5}$
Aceleración	L * T ⁻²	1
Aceleración Angular	T ⁻²	λ^{-1}
Cantidad de Movimiento	M * L * T ⁻¹	$\lambda^{3,5}$
Trabajo y Energía	M * L ² * T ⁻²	λ^4
Torque	M * L ² * T ⁻²	λ^4
Potencia	M * L ² * T ⁻³	$\lambda^{3,5}$
Presión y Esfuerzo	M * L ⁻¹ * T ⁻²	λ
Módulo Elasticidad	M * L ⁻¹ * T ²	$\lambda^{2,5}$

- Eslora entre perpendiculares: 360' 0"
- Manga moldeada : 42' 11,5"
- Puntal moldeado : 28' 3"
- Distancia entre cuadernas : 4' 6"
- Número de cuadernas : 80

Considerando que: - se requiere un modelo lo suficientemente grande, con el objeto que visualicen fácilmente los efectos de las inundaciones.

- el auditorio debe tener el acceso expedito para la toma de mediciones.

Se ha concluido que la eslora entre perpendiculares más conveniente es de 4 metros.

Utilizando la ecuación (2.1) se tiene:

$$\lambda = \frac{360'}{13,12'} = 27,4390244$$

$$\lambda = 27,44$$

Por lo tanto llevando las dimensiones de este buque a las del modelo, aplicando el factor de escala se tiene :

- Eslora entre perpendiculares: 4 m.
- Manga moldeada : 47,73 cm.
- Puntal moldeado : 31,39 cm.
- Número de secciones : 40
- Distancia entre secciones : 10 cm.

El número de secciones y la distancia entre ellas se determinó con el propósito de tener cálculos más exactos.

2.4.- Cálculo de la tabla de puntos del modelo.

La construcción del modelo estará definida mediante su tabla de puntos, la cual se debe calcular a partir de la del buque.

Utilizando el factor $\lambda = 27,44$ y considerando las cuadernas pares del buque y sus líneas de agua,

mediante la ecuación (2.1) se reduce la tabla de puntos del buque para obtener la del modelo.

2.5.- Cálculo de curvas hidrostáticas y cruzadas.

Considerando que las curvas son función exclusiva de la forma del casco y utilizando los factores de la tabla 2.1, se deben reducir en escala las curvas hidrostáticas y cruzadas pertenecientes al buque para dar origen a las del modelo.

2.6.- Compartimentación interna del modelo.

La distribución interna del modelo en cuanto a cubiertas, departamentos, estanques y mamparos estancos se deben guiar por los siguientes criterios.

- a) Mantener las mismas cubiertas del buque.
- b) Mantener el máximo de mamparos estancos.
- c) Los departamentos y estanques deben ser lo suficientemente grandes para que al inundarlos, los efectos sean notorios en el modelo.
- d) Deben tener todo tipo de departamentos (al centro, de banda a banda, uno por banda, etc.).
- e) No hacer subdivisiones estancas en aquellas cubiertas que estén muy por encima de la línea de flotación.
- f) La superestructura no lleva ningún tipo de división, sólo se mantiene por estética.
- g) Se eliminan todos los mamparos que no sean estancos.

2.7.- Composición del Casco.

2.7.1.- Cálculo de la cantidad de material a usar para LA CONSTRUCCION.

Primero es necesario determinar cuanto material se usará para construir el modelo, según los mamparos, cubiertas y superficies del casco, con el propósito de darle al modelo un peso proporcional al peso del buque.

A modo de ejemplo usaremos los valores ya calculados de un modelo para determinar su superficie total :

a) Area de los mamparos estancos : $A_1 = 3,12 \text{ (m}^2 \text{)}$

b) Area de las cubiertas :

- Cubierta N° 1 : $A_2 = 1,54 \text{ (M}^2 \text{)}$

- Cubierta N° 2 : $A_3 = 1,50 \text{ (M}^2 \text{)}$

- Cubierta N° 3 : $A_4 = 1,41 \text{ (M}^2 \text{)}$

- Cubierta N° 4 : $A_5 = 0,51 \text{ (M}^2 \text{)}$

c) Area del casco $A_6 = 3,4 \text{ (M}^2 \text{)}$

Por lo tanto la superficie total será :

$$St = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 11,48 \text{ (M}^2 \text{)}.$$

Luego, se requieren 11,5 (M²) de plástico reforzado con fibra de vidrio para construir el modelo.

2.7.2.- Determinación del peso del modelo.

El punto de partida será la condición liviana del buque la cual se asumirá en un desplazamiento de 2.202 toneladas. Esto llevado al modelo según la ecuación 2.2, indica que debe pesar :

$$2.202 \cdot \frac{10^3}{27,443} = 106,6 \text{ (Kg.)}$$

Estos 107 Kg. deberán estar distribuidos entre el peso del buque, sus accesorios y eventualmente agua en los estanques. Por lo tanto, un aspecto fundamental es la constitución del plástico reforzado con fibra de vidrio, de modo que pese el mayor porcentaje del total del modelo.

Existe un sin número de posibles combinaciones de componentes de plástico reforzado con fibra de vidrio, que dan distintos pesos por unidad de área.

Para este caso se ha elegido una combinación de 3 capas de Mat de 600 (gr/m²) y 1 capa de tela de 340 (gr/m²) que según lo especificado en la tabla 2.2, presenta las siguientes características : espesor: 4,6 mm; resistencia a la tracción: 928 (Kg./cm²); resistencia a la flexión: 1.318 (Kg./cm²); peso del laminado: 6,687 (gr/m²).

Luego el modelo deberá pesar $11,5 \times 6687 = 76,9$ (Kg.).

2.8.- Cálculo de la resistencia del casco.

Para realizar este cálculo se considerará al modelo como una viga sometida a distintos esfuerzos.

En este caso se considerará la condición más extrema a lo que se podría someter al modelo, que consiste en tener todos los departamentos y estanques llenos de agua. Esto en la práctica es muy difícil que se dé, ya que por si algún motivo se llenara entero y fallara el sistema de achique, se podría tomar con fajas para evitar daños.

A partir de la tabla de puntos del modelo se puede calcular que el volumen máximo de agua es de 250,38 litros, distribuidos en las secciones de acuerdo a la tabla 2.3, en la cual se incluye el desglose del peso de la estructura y pesos incorporados, que corresponden a 20 Kg. de plomo para efectuar experiencias como se explicarán más adelante.

La distribución del peso de la estructura se hizo considerando un peso de 0,2175 (Kg/cm), como se aprecia en la figura 2.1.-

2.8.1.- Cálculo de las fuerzas resultantes o necesarias para levantar el modelo.

Este cálculo se realizó determinando los momentos respecto a la sección cero e igualando las fuerzas en distintos sentidos, lo que dió como resultado :

TABLA 1.2.

Laminado	TIPO DE CONSTRUCCION		ESPE- SOR mm	Con- tenido de vidrio %	RESIST. A LA		Módulo x 10 ⁹ kg/cm ²	Impac- to kg/cm	PESOS		
	Depos.	MATERIAL			Trazado kg/cm ²	Flección kg/cm ²			Vidrio Gr/m ²	Resina Gr/m ²	Total Gr/m ²
1	2	Estera 600 gr/m ²	3,2	20,2	988	1 645	0,47	0,40	1 200	3 000	4 200
2	1	Tela 340 gr/m ² Estera 600 gr/m ²	2,8	28,4	738	1 304	0,23	0,40	940	2 070	3 010
3	1 2	Tela 340 gr/m ² Estera 450 gr/m ²	2,8	32,0	874	1 554	7,70	0,60	1 240	2 635	3 875
4	1 2	Tela 340 gr/m ² Estera 600 gr/m ²	3,3	30,1	1 051	1 504	0,60	0,50	1 540	3 570	5 110
5	1 3	Tela 340 gr/m ² Estera 600 gr/m ²	4,8	32,0	920	1 310	0,47	0,60	2 140	4 647	6 007
6	1 1 1	Tela 340 gr/m ² Estera 450 gr/m ² Tela 340 gr/m ²	3,0	24,9	630	2 043	10,04	0,45	1 130	3 408	4 538
7	1 2 1	Tela 340 gr/m ² Estera 450 gr/m ² Tela 340 gr/m ²	4,6	22,8	736	1 097	8,44	0,50	1 580	3 411	5 001
8	1 1 1	Tela 340 gr/m ² Tejido 810 gr/m ² Tela 340 gr/m ²	2,3	42,5	1 301	2 004	5,40	-	1 490	2 016	3 500
9	1 1 1	Tela 340 gr/m ² Estera 450 gr/m ² Tejido 810 gr/m ²	3,2	38,3	1 199	1 607	8,70	1,72	1 500	2 578	4 170
10	2	Tejido 310 gr/m ²	2,0	52,7	2 738	3 157	13,01	1,58	1 620	1 454	3 074
11	1 1 1	Tejido 810 gr/m ² Estera 450 gr/m ² Tejido 810 gr/m ²	2,5	53,2	2 039	3 227	15,47	2,49	2 070	1 821	3 891
12	1 1 1	Estera 600 gr/m ² Tejido 810 gr/m ² Tela 340 gr/m ²	3,2	30,0	809	1 617	5,13	-	1 750	3 111	4 861
13	1 2	Estera 450 gr/m ² Tejido 810 gr/m ²	2,5	47,0	1 501	2 929	7,10	1,21	2 070	2 534	4 604
14	1 1 1 1	Estera 450 gr/m ² Tejido 810 gr/m ² Estera 450 gr/m ² Tela 340 gr/m ²	2,5	47,9	1 751	2 208	7,50	1,41	2 030	2 230	4 260

Propiedades físicas de materiales laminados hechos con resina poliéster y varias combinaciones de refuerzos de vidrio.

TABLA 2.3

DISTRIBUCION DE PESOS EN EL MODELO

SECCIONES	PESO DEL AGUA (Kg.)	PESO DEL BUQUE (Kg.)	RESULTANTE (Kg.)
0--6	10,41	13,05	23,46
6--10	18,14	8,7	26,84
10--- 15	34,09	10,875	44,965
15--- 20	43,10	10,875	53,975
20--- 24	37,15	28,7	65,85
24----28	36,06	8,7	44,76
28--- 34	45,52	13,05	58,57
34--- 40	25,91	13,05	38,96
TOTAL	<hr/> 250,38	<hr/> 107	<hr/> 357,38

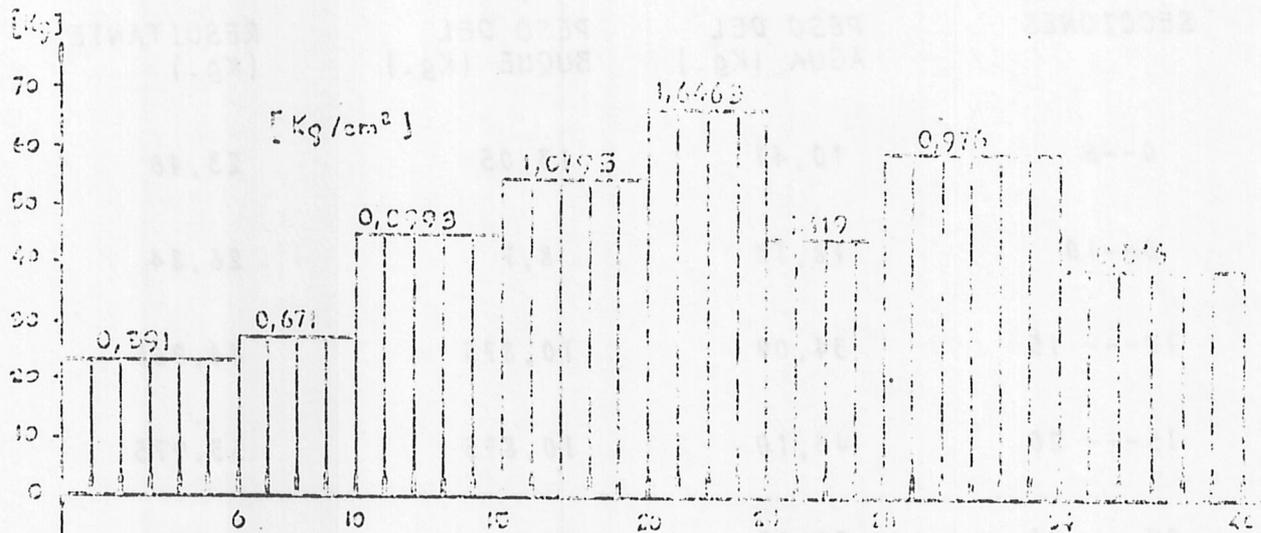


FIG. 2.1. DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE PESOS DE LA VIGA

$$R_a = 165,85 \text{ (Kg.)}$$

$$R_b = 191,53 \text{ (Kg.)}$$

2.8.2.- Cálculo de las fuerzas constantes.

Este cálculo se hizo considerando $V(x) =$

$$\int_0^x q(x) dx \quad (2.4)$$

$V(0) = 165,85 \text{ (Kg.)}$	$V(1) = 142,39 \text{ (Kg.)}$
$V(2) = 115,55 \text{ (Kg.)}$	$V(3) = 70,585 \text{ (Kg.)}$
$V(4) = 16,61 \text{ (Kg.)}$	$V(5) = 49,24 \text{ (Kg.)}$
$V(6) = -94,0 \text{ (Kg.)}$	$V(7) = 152,57 \text{ (Kg.)}$
$V(8) = 191,53 \text{ (Kg.)}$	

El diagrama de fuerzas cortantes se aprecia en la figura 2.2.

2.8.3.- Cálculo de los momentos flectores.

Este cálculo se hizo en base a $N(x) = \int_0^x V(x) dx \quad (2.5).$

$M_0 = 0 \text{ (Kg.cm.)}$	$M_1 = 9.247,2 \text{ (Kg.cm.)}$
$M_2 = 14.406 \text{ (Kg.cm.)}$	$M_3 = 19.059,37 \text{ (Kg.cm.)}$
$M_4 = 21.939,25 \text{ (Kg.cm.)}$	$M_5 = 21.322,3 \text{ (Kg.cm.)}$
$M_6 = 20.583,7 \text{ (Kg.cm.)}$	$M_7 = 17.718,9 \text{ (Kg.cm.)}$
$M_8 = 10.321,9 \text{ (Kg.cm.)}$	$M_9 = 0 \text{ (Kg.cm.)}$

El diagrama de momentos flectores se aprecia en la figura 2.3.

Luego la fuerza cortante máxima y el momento flector máximo serán :

$$V(x) \text{ max.} = 191,53 \text{ (Kg.)}$$

$$M(x) \text{ max.} = 21.322,3 \text{ (Kg.cm.)}$$

2.8.4.- Cálculo de los momentos de inercia respecto a la sección N° 21.-

En la figura 2.4 se aprecia un corte de la sección N° 21, donde se calcularon los momentos de inercia :

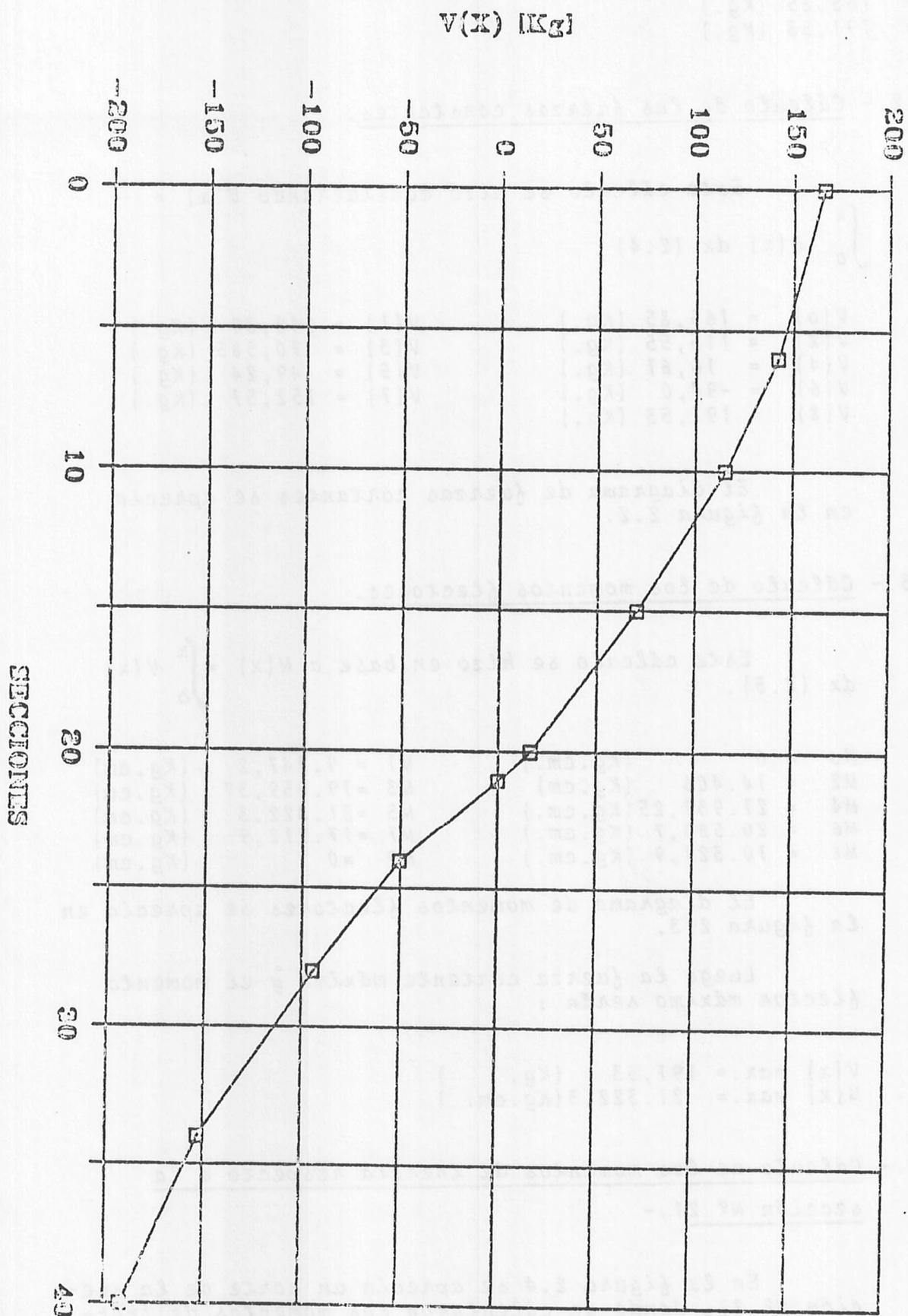


FIG. 2.2. DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES

Fig. 2.3

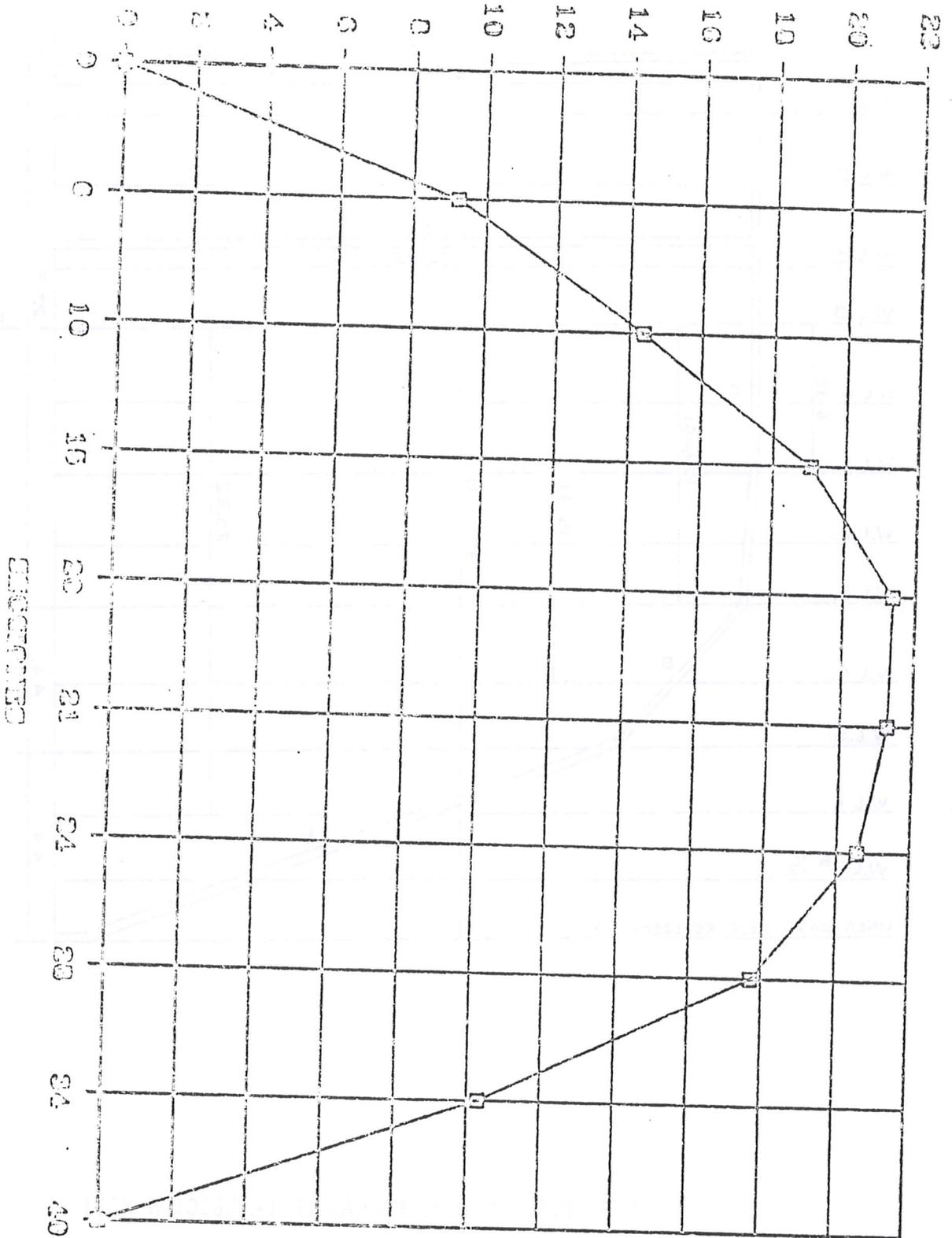


FIG.2.3. DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES

- a) Cálculo del eje neutro: $y_0 = 22,54$ (cm.)
- b) Momento de inercia respecto al eje de referencia : $I_{er} = 41.491,17$ (cm⁴)
- c) Momento de inercia respecto al eje neutro :
 $I_0 = 5.380,89$ (cm.⁴)
- d) Cálculo de "C" : $c = 22,54$ (cm.)

2.8.5.- Cálculo de los esfuerzos máximos en compresión y tracción.

2.8.5.1. Esfuerzo máximo en tracción.

$$\overline{\sigma}_t = (x) \max * c / I_0 = 89,32 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

2.8.5.2. Esfuerzo máximo en compresión.

$$\overline{\sigma}_c = (x) \max * x / I_0 = 35.07 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Por la posición de "c", que corresponde al punto más alejado de la quilla, el esfuerzo máximo en tensión se hará en la quilla y el de compresión en cubierta.

2.8.6.- Cálculo del esfuerzo máximo de corte.

$$\tau_{MAX} = \frac{V(x) \max * \sum (A_n * y_n)}{I_0 * bt} = 8,98$$

$$\tau_{MAX} = 9.0 \text{ (Kg./cm}^2\text{)}.$$

2.8.7.- Determinación de la resistencia del casco.

Al utilizar la composición de 3 capas de mat de 600 (gr./m²) y 1 tela de 340 (gr./m²), de acuerdo a la tabla 2.2, sus resistencias son :

$$\overline{\tau}_f = 928 \text{ (Kg./cm}^2\text{)}$$

$$\overline{\sigma}_f = 1.318 \text{ (Kg./cm}^2\text{)}$$

Utilizando un factor de seguridad = 2, se tiene que los esfuerzos admisibles del material son :

$$\begin{aligned} T_{adm} &= 464 \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \\ \sqrt{T}_{adm} &= 659 \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Comparando estos valores con los esfuerzos a que será sometido el modelo, que son :

$$\begin{aligned} T_{tr} &= 9.0 \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \\ \sqrt{T}_{tr} &= 89,32 \text{ (Kg./cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Se aprecia que en ambos casos los esfuerzos a que será sometido el modelo son del orden de un 13% en relación a lo que soporta el material, considerando un factor de seguridad, por lo que se concluye que esta combinación está capacitada para absorber los esfuerzos a que será sometida y le proporciona un peso adecuado al modelo.

ELEMENTOS AUXILIARES

3.1.- Elementos indicadores y de medición en el modelo.

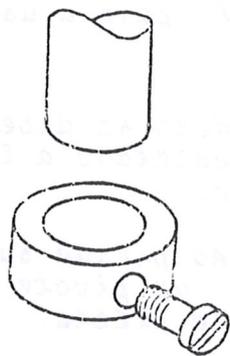
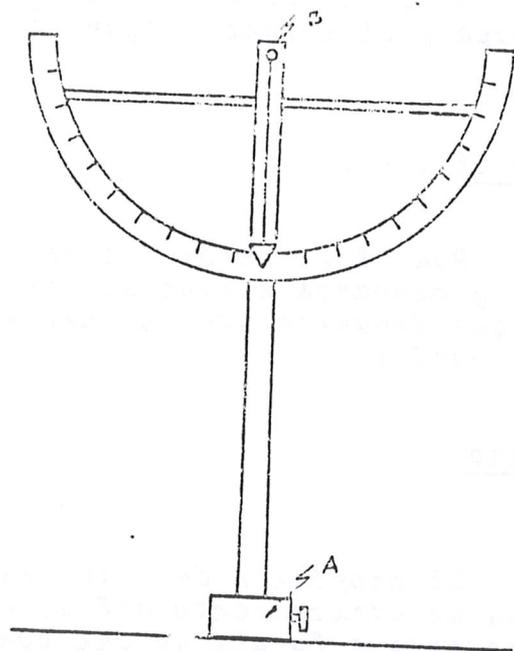
3.1.1. Clinómetros

Estarán compuestas por un semicírculo de aluminio de 15 (cm.) de radio, graduados de 0 a 90 grados por cada banda (numerados de 10 en 10 y líneas entre grados).

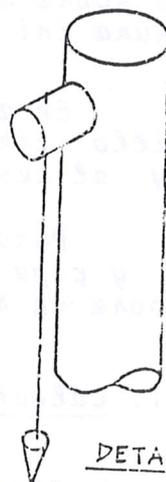
El soporte debe tener una altura de 35 (cm.) por 1 (cm.) de diámetro. Podrá ser construido en cobre, aluminio, PVC o cualquier otro material que no aporte, como se ve en la figura 3.1.-

Las lecturas se harán mediante un peso de bronce colgado mediante un cordel.

Estarán ubicados en cubierta, sobre las secciones 13 y 39.-



DETALLE A



DETALLE B

FIG. 3.1. DETALLE DE LOS CLINOMETROS

3.1.2. Marca de Calado.

Serán en centímetros y estarán pintadas a proa, popa y al centro, según normas internacionales.

3.1.3. Marcas en el casco.

Por el exterior del casco se dibujarán las cubiertas y mamparos estancos, con el propósito de visualizar que departamentos pueden ser inundados y cuales están vacíos.

3.1.4. Dinamómetro.

El propósito de este instrumento es medir los brazos de adrizamiento del modelo. Estará compuesto por una caja a la altura del borde de la pileta, con un resorte en su interior y una aguja indicadora, como se aprecia en la figura 3.2. El resorte deberá estar montado sobre un sistema movable para ajustar en cero la lectura inicial.

En el centro del modelo se deberá instalar un anillo circular que irá conectado a la pileta por abajo y al resorte por arriba.

Para que el buque no pierda su orientación a proa y popa se le instalará un pivote que se montará sobre un riel que tendrá la pileta.

3.1.4.1. Cálculo del resorte.

El momento o par de estabilidad estática transversal está definido por la ecuación:

$$M_e = \Delta m * GZ \quad (3.1)$$

Donde Δm corresponde al desplazamiento del modelo y GZ al brazo adrizante.

Por otra parte, el momento adrizante es:

$$M_a = F * r \quad (3.2).$$

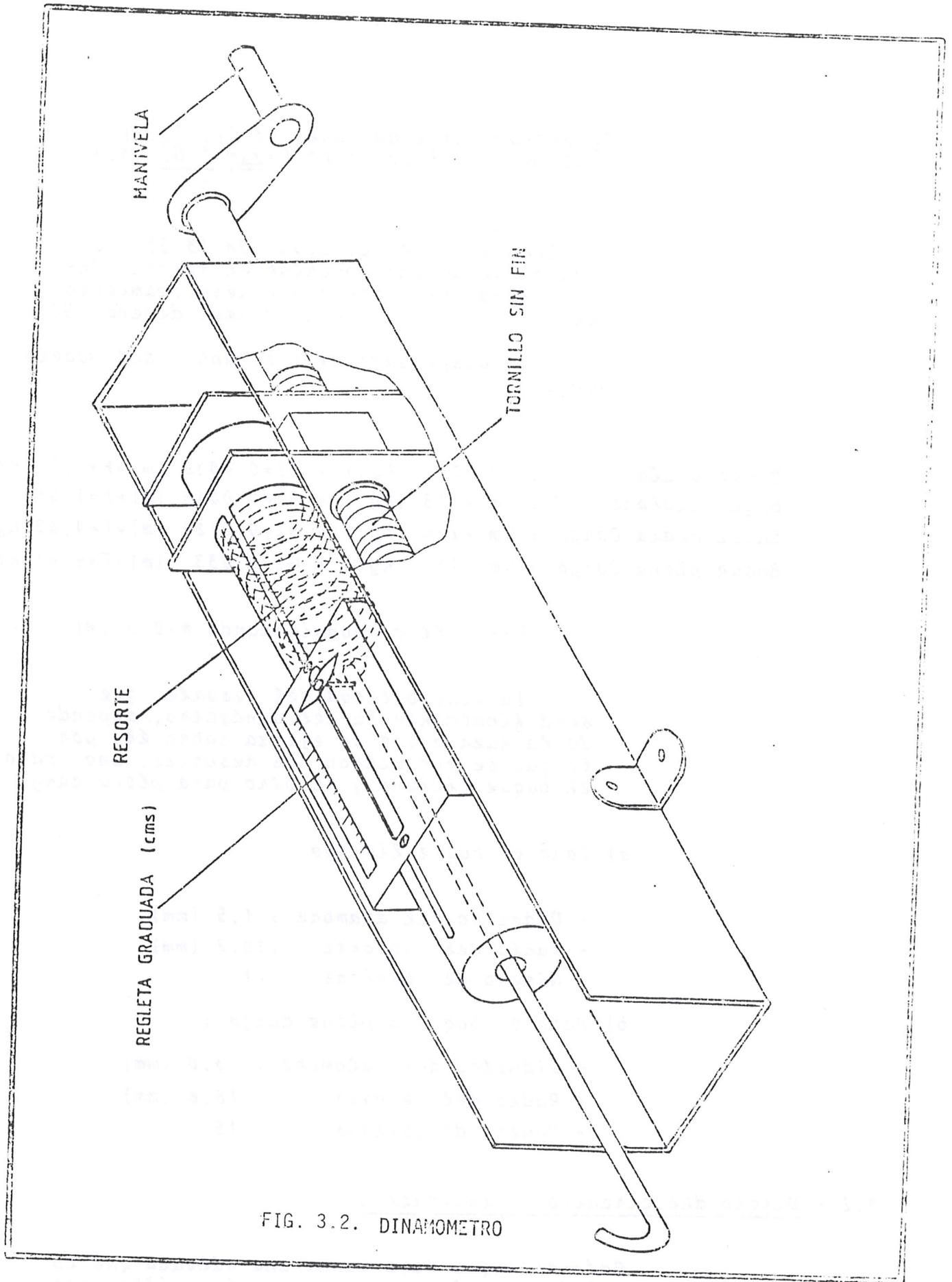


FIG. 3.2. DINAMOMETRO

Igualando las ecuaciones (3.1), (3.2)
y despejando F se tiene $F = \frac{\Delta m * GZ}{r}$ (3.3)

Como se vé en la ecuación (3.3), la fuerza que deberá soportar el resorte depende fundamentalmente del desplazamiento del buque, ya que de él además depende GZ.

Los desplazamientos estandar del modelo son :

Buque vacío	: Wm = 107 (Kg.) = GZ = 0,0036 (m) = F = 0,77 Kg.
Buque Liviano	: Wm = 113 (Kg.) = GZ = 0,0083 (m) = F = 1,88 Kg.
Buque media Carga	: Wm = 126 (Kg.) = GZ = 0,0186 (m) = F = 4,69 Kg.
Buque plena Carga	: Wm = 154 (Kg.) = GZ = 0,033 (m) = F = 9,61 Kg.

Esto último considerando $r = 0,5$ (m)

La sensibilidad del resorte, que será finalmente la del dinametro, depende de la fuerza que se ejerza sobre él, por lo que se calcularon dos resortes, uno para el buque liviano y el otro para plena carga :

a) Para el buque liviano :

- Diámetro del alambre : 1,5 (mm)
- Radio del resorte : 10,7 (mm)
- Número de espiras : 11

b) Para el buque a plena carga :

- Diámetro del alambre : 3.0 (mm)
- Radio del resorte : 16.6 (mm)
- Número de espiras : 15

3.2.- Diseño del circuito de inundación.

Cada estanque debe tener una válvula que lo comuniqué con el fondo del buque cerca de la quilla, como se muestra en la figura 3.3, y un desahogo para el aire.

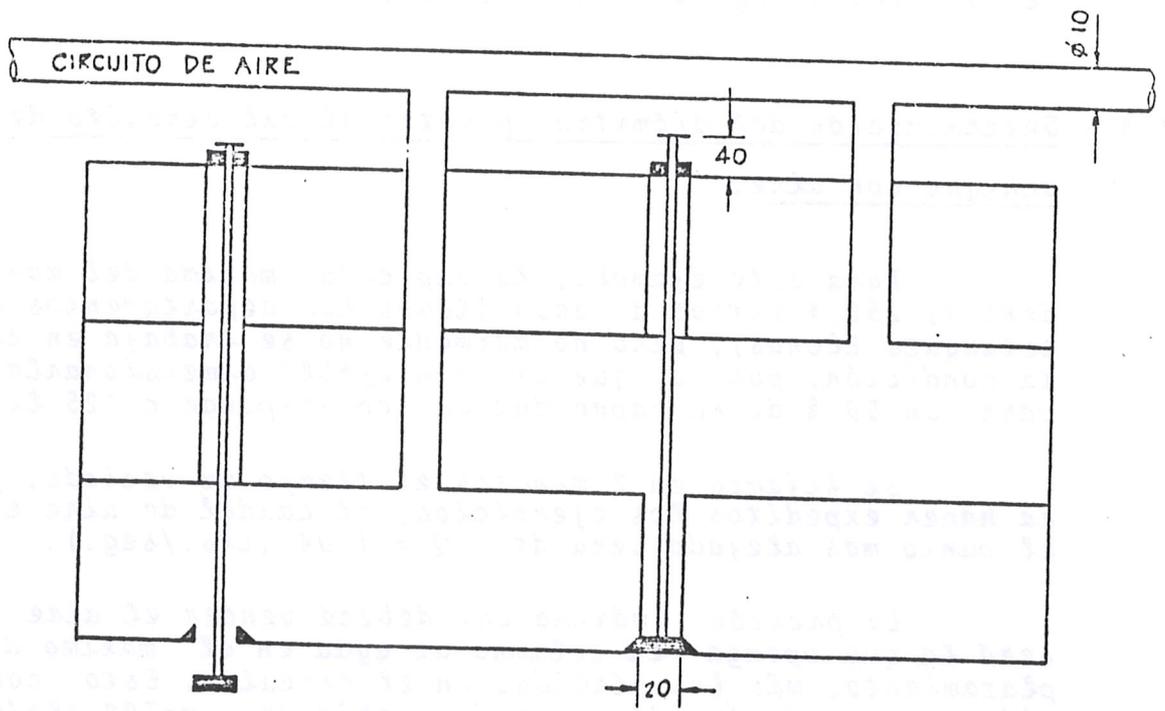


Fig.3.3 ESQUEMA DEL CIRCUITO DE ACHIQUE E INUNDACION (mm).

Para evitar daños por concentración de esfuerzos, cada abertura en el casco será reforzada con plástico y resina.

Los diámetros de los circuitos y las presiones a que serán sometidos, se deben calcular para inundar el departamento más grande en alrededor de 3 minutos y achicar el 50 % del buque en unos 2 minutos.

Para nuestro caso se requieren orificios con un diámetro de 2 (cm.) de modo de incluir en él el vastago de la válvula cuyo diámetro es de 5 mm.

3.3.- Determinación del diámetro y material del circuito de achique con aire.

Para este ejemplo, la capacidad máxima del modelo es 250,4 litros de agua (todos los departamentos y estanques llenos), pero normalmente no se trabaja en esta condición, por lo que es aconsejable dimensionarlo para un 50 % de su capacidad que corresponde a 125 litros.

Si fijamos en 2 minutos el tiempo de vaciado, para hacer expeditos los ejercicios, el caudal de aire en el punto más alejado será de : $Q = 1.04$ (Lts./seg.).

La presión máxima que deberá vencer el aire será la que oponga la columna de agua en el máximo desplazamiento, más las pérdidas en el circuito. Esto considerando un factor de seguridad sería de : $p=700$ (Kg/m²), para lo que bastaría con una cañería de 10 (mm) de diámetro, con un bombín que suministre el aire.

De aquí se concluye que los estanques y departamentos deberán ser probados para resistir una presión máxima de 0,1 (Kg./cm²).

3.4.- Pesos en el casco.

Con el propósito de variar en forma rápida el GM se recomienda instalar un peso de 10 Kg. sobre un

tornillo sin fin sobre la posición normal del centro de gravedad del buque.

Además, es recomendable otro peso de 10 Kg. sobre la cubierta principal a la altura de la sección media que se pueda desplazar de banda a banda, por lo que debe ir montado sobre un riel, con un tornillo y mariposa para poder fijarlo.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y COSTO DE CONSTRUIR EL MODELO EN CHILE.

4.1.- Técnica de construcción del modelo.

Para trabajar con plásticos reforzados con fibra de vidrio existen diversos métodos, pero en este caso fue seleccionado el manual por ser más económico.

La mayor dificultad al fabricar el modelo consiste en obtener el molde adecuado, ya que de él depende la calidad del producto y sobretodo que el modelo sea una reproducción exacta del casco del buque para que su comportamiento sea semejante y se puedan reproducir las curvas hidrostáticas y cruzadas.

Para obtener el molde es conveniente laminar sobre un molde macho, terminado con una capa de tela, que se puede enmasillar y pulir para pintar con laca poliester.

4.2.- Inspección.

El éxito o fracaso en la construcción de laminados de plástico reforzado con fibra de vidrio depende del cuidado con que se realicen las diferentes etapas durante la fabricación y fundamentalmente, de los conocimientos y experiencias del fabricante, por lo que esto será un aspecto determinante en la selección de quien construye el modelo.

En la inspección no se considerarán pruebas mecánicas y químicas, por ser ambas destructivas, que necesitan muestras preparadas especialmente, y porque ya se conocen las propiedades del laminado que se utilizará en la construcción del modelo.

Por lo tanto se deberá inspeccionar visualmente, teniendo especial cuidado en los siguientes puntos:

- a.- Inspecciones en la superficie y apariencia general.
- b.- Ausencia de burbujas de aire en el laminado.
- c.- Dimensiones y espesor del laminado.

4.3.- Factibilidad y costo de construir el modelo en Chile.

De acuerdo con las características del modelo calculadas, se cotizó su construcción en una serie de empresas relacionadas con el área, determinándose finalmente que es factible construirlo a un precio varias veces menor en relación a comprarlo en el extranjero.

CONCLUSIONES

Considerando los cálculos efectuados y los presupuestos enviados por las empresas, se concluye que es factible y altamente conveniente construir el modelo en Chile, ya que se ahorra del orden de 15 millones de pesos, en comparación al costo de comprarlo en el extranjero.

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

- 1.- " UTILIZACION MANUAL FOR STABILITY DEMONSTRATORS "
U.S. NAVAL TRAINING DEVICE CENTER. JULIO 1959.
- 2.- " MODERN SHIP DESIGN "
THOMAS C. GILLMER 1977.
- 3.- " PRINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE "
THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS,
1967.
- 4.- " FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCION NAVAL Y ESTABILIDAD DEL
BUQUE " P.A.M.
- 5.- " APUNTES EMPLEADOS EN CLASES DE LA CARRERA DE CONS-
TRUCCION NAVAL " U.T.E.
- 6.- " CALCULO DE ESTRUCTURAS DE BUQUES (CONSTRUCCION NAVAL)
- 7.- " TEORIA DEL BUQUE "
ANTONIO BONILLA DE LA CORTE, 1982.
- 8.- " COMPARACIONES TECNICAS ENTRE CASCOS DE FIBRA DE VIDRIO
Y CASCOS DE ACERO, SUS VENTAJAS Y DESVENTAJAS "
HERNAN RUIZ CASTILLO, 1982.
- 9.- " PLASTICOS REFORZADOS "
OWENS CORNING FIBERGLASS INTERNATIONAL
- 10.- " GLASS REINFORCED PLASTIC BOAT BUILDING "
A.Mc. INNES Y W.L. HOBBS (LLOYD'S REGISTER OF
SHIPPING LONDON).
- 11.- " INFORMACION TECNICA DE FIBRAS DE VIDRIO "
V.A.S.A. S.A.
- 12.- " MANUAL DE DISEÑO DE P.R.F.V. "
V.A.S.A. S.A.
- 13.- " RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF YACHTS
AND SMALL CRAFT " CHAPTER 2 GLASS REINFORCED PLASTICS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING LONDON. 1978.
- 14.- " MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA "
RONALD V. GILER 1967.
- 15.- " DISEÑO DE UN SIMULADOR DE ESTABILIDAD PARA EL CENTRO
DE ENTRENAMIENTO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA NAVAL
DE LA ARMADA DE CHILE "
JOHNSON A., CRISTIAN

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

1. " DIRECTION MANUAL FOR STABILITY DEMONSTRATORS " U.S. NAVAL TRAINING DEVICE CENTER, JULIO 1950.
2. " MODERN SHIP DESIGN " THOMAS C. GILLMER 1971.
3. " PRINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE " THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS, 1967.
4. " FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCION NAVAL Y ESTABILIDAD DEL BUQUE " P.A.M.
5. " APUNTES ENLEADOS EN CLASES DE LA CARRERA DE CONSTRUCCION NAVAL " U.T.E.
6. " CALCULO DE ESTRUCTURAS DE BUQUES (CONSTRUCCION NAVAL) " TEORIA DEL BUQUE " ANTONIO BONILLA DE LA TORTE, 1962.
7. " COMPARACIONES TECNICAS ENTRE CASCO DE FIBRA DE VIDRIO Y CASCO DE ACERO, SUS VENTAJAS Y DESVENTAJAS " HERRERA RUIZ CASTILLO, 1962.
8. " PLASTICOS REFORZADOS " OWENS CORNING FIBERGLASS INTERNATIONAL.
9. " GLASS REINFORCED PLASTIC BOAT BUILDING " JOHN JAMES Y W. E. HOBBS (LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING LONDON).
10. " INFORMACION TECNICA DE FIBRAS DE VIDRIO " U.S.A. S.A.
11. " MANUAL DE DISEÑO DE R.F.P. " U.S.A. S.A.
12. " RULES AND REGULATIONS FOR THE CLASSIFICATION OF YACHTS AND SMALL CRAFT " CHAPTER 8 GLASS REINFORCED PLASTICS LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING LONDON, 1974.
13. " MECANICA DE LOS FINIDOS E HIDRANLITICA " RONALD V. GIER 1967.
14. " DISEÑO DE UN SINTACTOR DE ESTABILIDAD PARA EL CENTRO DE ENTRENAMIENTO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA NAVAL DE LA ARMADA DE CHILE " JOHNSON A., CRISTIAN.