

4-27  
/

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

---



## LANCHA DE FERROCEMENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n

FERNANDO CALDERON FIGUEROA  
MIGUEL ANGEL LARA ALVAREZ  
OSCAR ANUAR BADIN CHERIT  
JUAN ANTONIO PEREZ TEXPA



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 esta 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.

## I N D I C E

- I. INTRODUCCION GENERAL
- II. SISTEMA DE IMPULSION
- III. CONSTRUCCION DE LA EMBARCACION DE FERROCEMENTO
- IV. DISEÑO DE MEZCLAS DE MORTERO
- V. PRUEBAS REALIZADAS
- VI. BIBLIOGRAFIA
- VII. FOTOGRAFIAS

## I, INTRODUCCION GENERAL.

El presente trabajo ha sido elaborado con el fin de encontrar una solución práctica y económica al problema de transportación con embarcaciones menores, abatiendo los altos costos de materias primas, mano de obra y mantenimiento en la construcción de la embarcación e ideando un sistema de propulsión cuyas características de fabricación, operación y mantenimiento, representen una ventaja en comparación a los sistemas convencionales.

Partiendo de los puntos mencionados anteriormente, el material elegido para la construcción de la embarcación es el ferrocemento, que es un material que cumple con las especificaciones requeridas y cuyas características mecánicas y económicas se estudiarán posteriormente.

Por lo que respecta al dispositivo de impulsión, se optó por utilizar un nuevo sistema, ausente de partes mecánicas en movimiento que prometía un gran ahorro en operación y mantenimiento.

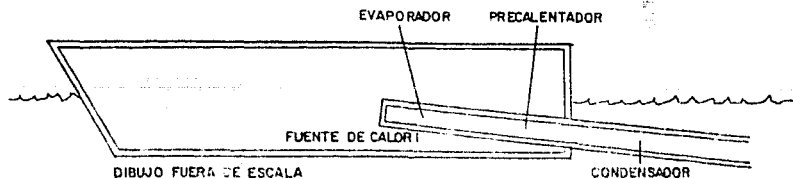
El enfoque dado al estudio, es eminentemente práctico, como podrá apreciarse a lo largo de su desarrollo.

## II, SISTEMA DE IMPULSION.

## INTRODUCCION.

Esta tesis esta enfocada al estudio de un dispositivo de impulsión térmica, aplicado a una embarcación menor. El principio por el cual funciona dicho dispositivo es en apariencia sumamente sencillo, pues consiste únicamente en cambios de fase en el fluido de trabajo (líquido-vapor-líquido), que en este caso es el agua sobre la que se desliza la embarcación.

El dispositivo consiste en su concepción más sencilla, en un tubo metálico cerrado en uno de sus extremos, este tubo es en parte sumergido por la popa de la embarcación en el fluido de trabajo y el extremo cerrado es calentado en el interior de la embarcación, hasta lograr la ebullición del líquido que se encuentra en contacto con la parte caliente del tubo, llamada evaporador, llegándose a establecer un ciclo de admisión-expulsión de la columna de agua confinada en el interior del ducto, produciéndose así una serie de impulsos que provocan el avance de la embarcación. Ver figura.



Este tipo de motores, llamémosle así al dispositivo de impulsión térmica, se basa como mencionamos anteriormente, en un continuo cambio de fase del fluido de trabajo; este principio se ha venido utilizando a través del tiempo en aplicaciones similares pero a otros niveles ya que su construcción no es análoga a la del motor térmico objeto de esta tesis.

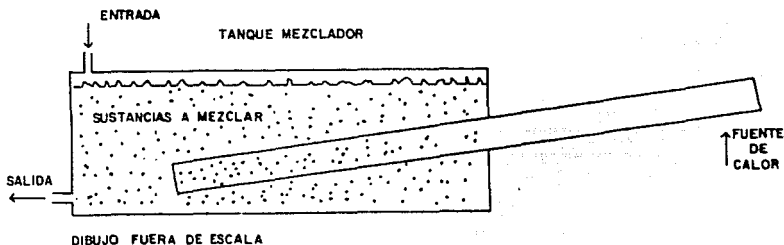
El objetivo fundamental del presente estudio, es realizar las investigaciones necesarias para llegar a establecer las bases prácticas de un futuro desarrollo de este tipo de sistemas en México.

En otros países se ha dado mayor impulso a la investigación de estos motores, aunque no se ha llegado a su comercialización, quedando todas las investigaciones a nivel de laboratorio.

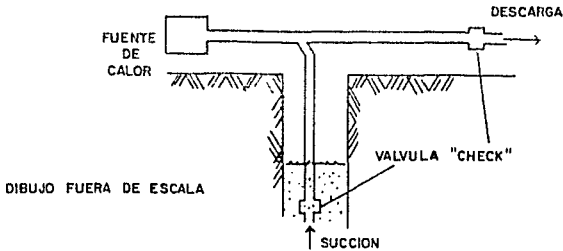
Uno de los países en donde se ha llegado a estudiar con mayor profundidad este tema, son los E.U.A., en donde Peter R. Payne, que es presidente de la compañía "Small High-Technology - R & D Companies", ha realizado una serie de estudios y experimentos al respecto, aplicando el dispositivo tanto a impulsión de embarcaciones, en bombas de succión directa y como mezclador elevador de temperatura. El grado de desarrollo en México es mínimo en comparación a otros países, razón por la cual este dispositivo y sus posibles aplicaciones no son suficientemente conocidos.

Debido a la escasa información existente, esta tesis se basa principalmente en experiencias prácticas, todo esto en cuanto al sistema de impulsión se refiere. Podrá verse que no se cuenta en la actualidad con aplicaciones prácticas ni experimentales en el país.

Como se mencionó anteriormente una de las posibles aplicaciones de este dispositivo, consiste en utilizarlo como mezclador-elevador de temperatura, en procesos químicos en donde se requieran mezclados lentos y elevaciones de temperatura de unos cuantos grados, será factible justificar el empleo de un dispositivo de este tipo. Ver figura.



Otra forma de utilizar el dispositivo, agregando algunas modificaciones menores, es como bomba de succión para niveles freáticos superficiales que no se encuentren a profundidades mayores de 3 metros, en tales condiciones y en lugares donde no se cuente con energía eléctrica, el uso de este tipo de bomba es factible. Ver figura.



Una tercera forma de aprovechamiento, consiste en emplear el dispositivo como impulsor para embarcación, de la manera como se explicó anteriormente; no ha llegado a emplearse como tal puesto que presenta ciertas características en su funcionamiento que no son compatibles con todas las formas de navegación, conforme se desarrolle el estudio estos puntos quedarán aclarados.

El principal problema para el estudio del motor, es llegar a identificar y comprender los parámetros que definen el comportamiento del sistema, una vez logrado esto, se pretende llegar a definir el funcionamiento del motor en base a dichos parámetros. Se espera visualizar estos factores por medio de la investigación directa, llevando a cabo la construcción de distintos modelos con características diferentes cada uno de ellos y con condiciones de prueba similares a las de operación práctica, haciendo variar en cada una de ellas los parámetros que se juzgaron básicos para el comportamiento del motor.



## SISTEMA DE IMPULSION TERMICO

El impulsor a chorro de agua, es un motor propulsor aparentemente sencillo en su diseño, más aún si se compara con uno de combustión interna o externa. En su más simple concepción es un tubo de metal, con un extremo cerrado y otro abierto, introducido este último en agua. Al igual que su fabricación, su instalación en la embarcación es sencilla, ya que solo basta horadar la misma por el espeje de popa, introducir el tubo repartiendo la longitud de este, tanto fuera de la embarcación en contacto con el agua, como dentro de esta en donde se instala el quemador.

Si el extremo cerrado, que es el que se encuentra en el interior de la embarcación, se calienta, el agua oscila en el interior del tubo y fluye hasta el extremo caliente de este, llamado evaporador o calentador, entrando el agua y produciéndose vapor bruscamente y en grandes cantidades; la cantidad de vapor producida, está en función de varios factores como son la capacitancia térmica de la pared del evaporador y la conductividad térmica de la misma, que es la parte que estará en contacto con la fuente de calor.

Una vez que el agua pasa a la fase de vapor en el calentador, la presión de vapor fuerza al agua a regresar hacia el escape, de tal manera que es descargada en forma de chorro y con una fuerza de empuje relativamente grande.

Después del evaporador o calentador, está una sección que recibe el nombre de precalentador, esta tiene como función acelerar la producción de vapor, y lograr por lo tanto un mayor rendimiento del dispositivo. Dicha sección del dispositivo se define automáticamente al iniciarse el ciclo térmico y no es necesario proveerla de fuente de calor.

El ciclo de trabajo se concluye cuando el agua penetra una vez más al calentador a través del condensador y el precalentador.

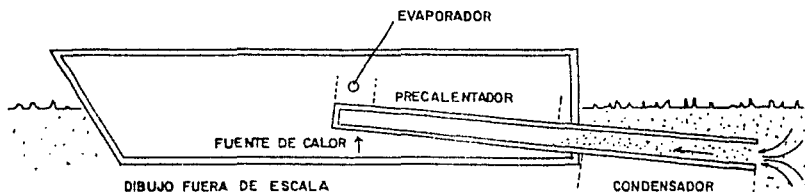
#### DESCRIPCION DEL CICLO

##### ADMISION:

Durante esta primera etapa, que consideraremos el inicio del ciclo del motor térmico, se forma una corriente bajo el agua que fluye de todas direcciones hacia el interior del extremo abierto del tubo, estableciéndose en el interior de este una corriente de agua que se dirige del condensador al evaporador, pasando a través del precalentador.

La velocidad de admisión del flujo de agua dirigido hacia el evaporador es grande, ocasionando esto un flujo turbulento. el cual al pasar por la sección de precalentamiento empieza a elevar su temperatura homogéneamente, creando las condiciones propicias para la evaporación. La temperatura del evaporador hasta este instante esta muy por arriba de la del

punto de ebullición del agua, puesto que aún no entra el líquido a esta sección del tubo. En esta etapa del ciclo, por razones que se explicaran más adelante, se presentan dos tipos de presiones en el sistema, negativa en el evaporador y positiva en el extremo de admisión del ducto. Ver figura.

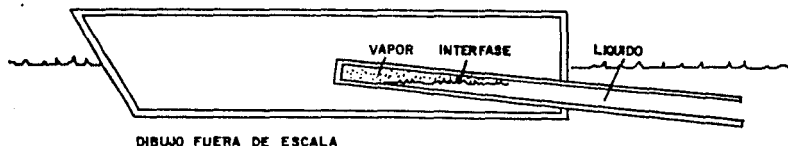


#### EVAPORACION:

En esta segunda etapa la columna de agua que entra, tiene una cantidad de movimiento relativamente grande, la cual al entrar al evaporador provoca una brusca producción de vapor, que invierte el movimiento de la columna en una fracción de segundo. En este instante la presión de vapor dentro del tubo se puede considerar alta.

La pared del evaporador debe ser altamente conductiva, y suficientemente gruesa para almacenar la temperatura necesaria para cada ciclo de producción de vapor. Esta actúa como una capacitancia térmica, siendo cargada mientras el

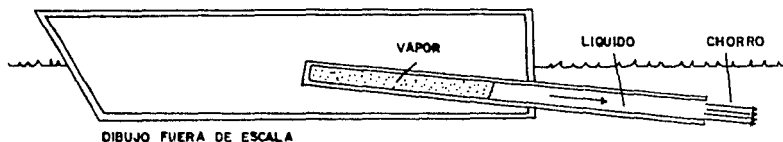
agua está fuera del evaporador y descargada cuando el agua entra. Ver figura.



#### EXPULSION:

Como vimos en la etapa de evaporación, la columna de agua que entra al evaporador es cambiada de dirección, debido a la brusca producción de vapor, la cual crea un incremento de presión teniéndose una expansión del vapor, la que desaloja la columna de agua del interior del tubo en forma de chorro.

Ver figura.



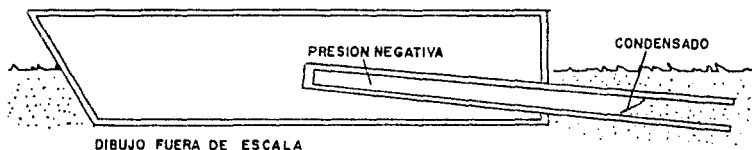
#### CONDENSACION:

Una vez que se ha logrado obtener un impulso debido a la salida del agua en forma de chorro, el vapor por su aumen

to de volumen llega al condensador, el cual permanece prácticamente a la misma temperatura del agua circundante, que es entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $15^{\circ}\text{C}$ . Esto provoca que el vapor, al entrar en contacto con esta sección, sufra una súbita condensación, con lo que la presión en el interior del ducto cae por debajo de la atmosférica,

Para lograr una total condensación es necesario que la pared del tubo en esta sección sea altamente conductiva.

La caída de presión en el interior del motor térmico provoca una succión, que hace que la dirección del flujo de la columna de agua nuevamente sea invertida, ya que al ser mayor la presión fuera del ducto, ésta fuerza al agua a entrar nuevamente al evaporador, repitiéndose así el ciclo. Ver figura,



## PARTE EXPERIMENTAL

EL estudio del sistema de impulsión, se enfocó desde el punto de vista experimental debido a la escasa información con que se contaba.

La idea de desarrollo consiste en elaborar un primer modelo, del cual por medio de observaciones se desprendan los lineamientos con que debe de cumplir un segundo modelo en el cual se corregirán las fallas descubiertas en el primero, y así sucesivamente.

El primer modelo, se construyó con el único fin de tener un punto de partida para el futuro desarrollo de los siguientes y lograr establecer así, los principales parámetros que definen el comportamiento del sistema.

En el segundo modelo, se añade una sección efectiva de condensación y se definen los términos de frecuencia de evaporación y frecuencia de condensación, que sirven como indicadores del comportamiento esperado de un modelo.

En el tercer modelo, segunda fase, se integra el dispositivo de cebado o purga de la cámara de evaporación, y en su tercera fase el dispositivo de alimentación directa al evaporador; todas estas modificaciones, se efectuaron con el fin de

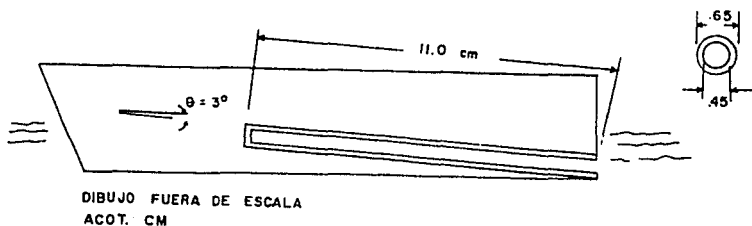
mejorar el comportamiento del dispositivo basándose en experiencias anteriores.

En la parte final de este capítulo, se incluye una serie de indicaciones de modificaciones al dispositivo, para que en una futura investigación sean incluidos, con el fin de -- optimizar el comportamiento del dispositivo.

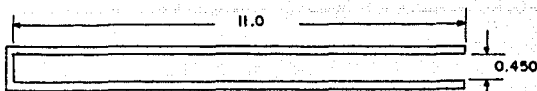
Para los tres modelos presentados, se incluyen reportes en tiempo real de algunas de las pruebas realizadas, esto es con el fin de dar una idea más apegada a la realidad de los trabajos efectuados. A continuación, se presenta la descripción de algunos de los diferentes modelos construidos y probados..

## MODELO No, 1

El primer modelo construido se muestra en la figura, fué hecho a las medidas indicadas, para visualizar en una forma inicial, las características principales de su funcionamiento.



El impulsor térmico, fué diseñado en función de los requerimientos básicos de la información con que se contaba; su longitud es de 11.00 cm., teniendo un diámetro interior de 0,450 cm, y un diámetro exterior de 0,650 cm., estas dimensiones nos dan por resultado un volumen interior de:

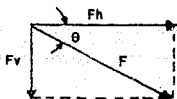


$$V = \pi r^2 \times 11 = 3.14 \times .225^2 \times 11 = 1.75 \text{ cm}^3$$



El material empleado para la fabricación de este impulsor -- fue cobre del llamado electrolítico, se eligió debido a su alta conductividad térmica, que es una de las características principales que debe tener el impulsor dado al alto flujo de energía calorífica que se establece entre la pared caliente del tubo y el elemento de trabajo, que en este caso es el agua.

El montaje del impulsor en la embarcación se llevó a cabo -- por la popa de la misma dando una inclinación, con respecto a la línea de flotación de  $\theta = 3^\circ$ , esta inclinación se fijó pensando en aprovechar al máximo la fuerza de empuje provocada por el aumento de volumen debido a la generación de vapor. (Ver Capítulo de motor de impulsión).



$F_h$  = Fuerza eficaz de empuje

$F_v$  = Fuerza no utilizada en empuje

$F$  = Fuerza generada

$$F_h = F \cos \theta$$

$$F_v = F \sin \theta$$

Como se puede observar en el diagrama de fuerzas, cuando el

ángulo  $\theta$  tiende a  $0^\circ$  la fuerza de empuje es máxima, ya que:

$$\text{Si } \theta = 0^\circ$$

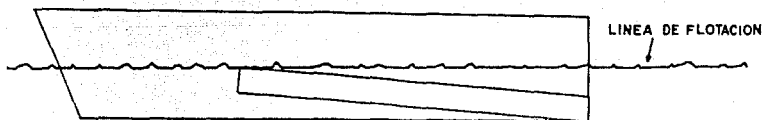
$$F_v = F \text{ sen } (\theta) = 0$$

$$F_h = F \text{ cos } (\theta) = F$$

La razón por la cual no se utilizó esta condición, es el hecho esperado de evitar el tener siempre un volumen total líquido en el área de evaporación, lo que restaría eficiencia al dispositivo, puesto que el volumen de agua a evaporar sería mayor. Ver Figura.



El extremo cerrado del tubo como se ve en la figura coincide con la línea de flotación de la embarcación.



Las características del modelo de la embarcación construida se eligieron basadas en las dimensiones del impulsor y en los resultados esperados.

## PRUEBAS REALIZADAS

Anteriormente a la realización de las pruebas físicas, se procedió a la elaboración de un modelo matemático con el fin de determinar la frecuencia teórica de los impulsos.

## MEMORIA DEL CALCULO

## CONSIDERACIONES:

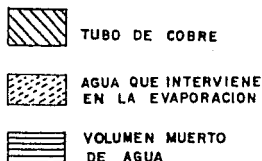
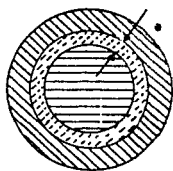
- a)  $T_{ext}$  = Temperatura promedio exterior de la pared caliente = constante.
- b)  $T_{int}$  = Temperatura promedio del fluido de trabajo al iniciar el ciclo = constante.
- c)  $\phi_{int}$  = Diámetro interior del tubo.
- d)  $\phi_{ext}$  = Diámetro exterior del tubo.
- e)  $L_{ev}$  = Longitud del evaporador.
- f)  $c$  = Calor específico del cobre = constante.
- g)  $p$  = Peso específico del cobre = constante.
- h)  $K$  = Conductividad térmica del cobre = constante.
- i)  $e$  = Espesor de la sección anular líquida que interviene en la evaporación = constante.

Esta sección anular se considerará así, dado el hecho de que no toda el agua que penetra en el evaporador cambia de fase; puesto que prácticamente, en el mismo instante en que se inicia la evaporación, también empieza la expulsión del ciclo.

VALORES:

- a)  $T_{ext} = 320^{\circ}\text{C}$   
 b)  $T_{int} = 15^{\circ}\text{C}$   
 c)  $\varnothing_{int} = 0.00450 \text{ m}$   
 d)  $\varnothing_{ext} = 0.00650 \text{ m}$   
 e)  $Lev. = 0.03 \text{ m}$   
 f)  $c = 0.094 \text{ Kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$   
 g)  $\rho = 8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$   
 h)  $K = 320.0 \text{ kcal/hr m } ^{\circ}\text{C}$   
 i)  $e = 5 \times 10^{-6} \text{ m}$

En la figura que a continuación se muestra, se puede observar la consideración de la sección anular antes mencionada.



Cálculo de la cantidad de calor que fluye de la superficie caliente del evaporador al fluido del trabajo.

$$q_c = h_c A_s (AT)$$

En donde:

$$h_c = 0.459 \text{ kcal/hr m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad \text{Conductancia Térmica.}$$

Este valor fue obtenido de tablas para condiciones similares a las del experimento.

$A_s$  = Superficie interior del evaporador

$A_s = \pi \cdot d_{int} \cdot L_{ev}$

$A_s = 3.14 \times 0.00450 \times 0.03$

$A_s = 4.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$T = T_{ext} - T_{int} = 320 - 15$

$T = 305^\circ\text{C}$

De donde:

$q_c = 0.459 \times 4.24 \times 10^{-4} \times 305$

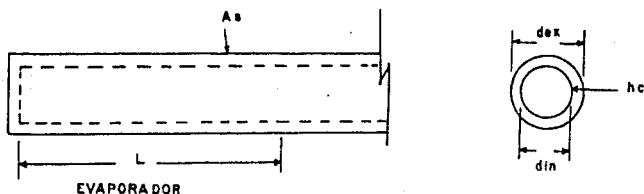
$= 0.0594 \text{ Kcal/hr}$

$= 9.9 \times 10^{-4} \text{ Kcal/min}$

$= 1.65 \times 10^{-5} \text{ Kcal/seg}$

$q_c = 0.0165 \text{ cal/seg}$

Cálculo de la cantidad de calor necesaria para evaporar el volumen de agua de la sección anular del evaporador.



$q = MC_p \Delta T$

En donde:

$m = \rho_{\text{agua}} \cdot V_{sa}$

$\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$V_{sa} = \text{volumen de la sección anular} = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot L_{ev}$

$$= ( (0.00450)^2 - (0.004495)^2 ) \frac{\pi}{4} \times 0.03$$

$$V_{sa} = 1.03 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$m = 1.03 \times 10^{-9} \times 1000$$

$$m = 1.03 \times 10^{-6} \text{ kg.}$$

$$c_p = 1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_{ev} - T_{int}$$

En donde:

$T_{ev}$  = Temperatura de evaporación del agua. Se tomará a condiciones normales de presión.

$$T_{ev} = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 100 - 15$$

$$\Delta T = 85^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$q = 1.03 \times 10^{-6} \times 1 \times 85$$

$$= 8.75 \times 10^{-5} \text{ Kcal}$$

$$q = 8.75 \times 10^{-2} \text{ cal}$$

Calculando la relación entre el calor necesario para la evaporación y el calor suministrado, encontraremos el período de las oscilaciones del impulsor.

$$P = \text{Período} = q_c / q$$

$$= 0.0875 / 0.0165$$

$$P = 5.30 \text{ seg}$$

$$\text{Frecuencia} = 1 / P = f$$

$$= 1 / 5.30$$

$$f = 0.19 \text{ impulsos/seg}$$

## PRUEBAS PRACTICAS DEL PRIMER MODELO

Una vez concluida la construcción del modelo cuyas características se describieron anteriormente, se procedió a la realización de las pruebas necesarias para determinar la frecuencia de operación del dispositivo de impulsión.

Las pruebas descritas se realizaron bajo los siguientes pasos:

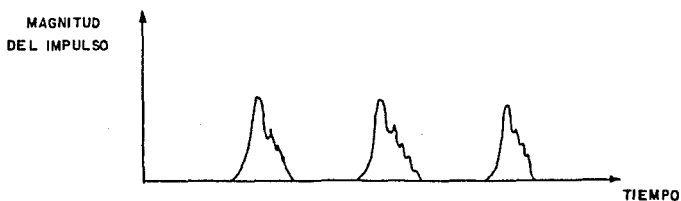
- 1.- Se botó el modelo en un recipiente con  $1m^3$  de agua.
- 2.- Se verificaron las condiciones de instalación del dispositivo.
- 3.- Se prendió el quemador de gasolina
- 4.- Se procede a tomar las lecturas de frecuencia del motor, con la ayuda de cronómetro.

De las pruebas realizadas, sólo se consigna el resultado promedio de éstas.

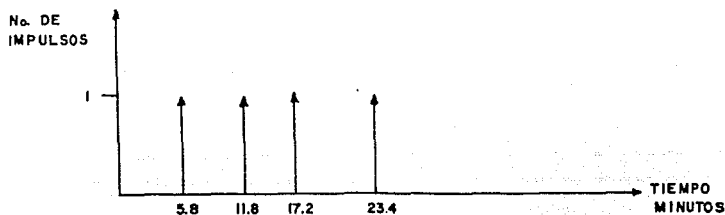
Una vez encendido el quemador, el primer impulso se produjo a los 6 minutos de iniciada la prueba, posteriormente se repetían herráticamente con períodos que oscilaban entre 4 y 8 minutos.

Uno de los detalles que se observaron, fue el hecho de que al producirse un impulso de magnitud considerable, este era seguido inmediatamente por una serie de impulsos de menor magnitud que mostraban una clara tendencia de amortiguamiento.

En la Figura siguiente se puede observar una representación gráfica cualitativa de este fenómeno.



Haciendo un análisis de los datos obtenidos, podemos observar que la tendencia de la frecuencia de impulsos se puede presentar gráficamente como se muestra a continuación:



Con el fin de poder realizar una comparación cuantitativa de los resultados prácticos y los resultados teóricos se calculó un período promedio:

$$\text{Período Promedio} = P_p \frac{6+5.8+5.4+6.2}{4} = 5.85 \text{ min.}$$

### CONCLUSIONES

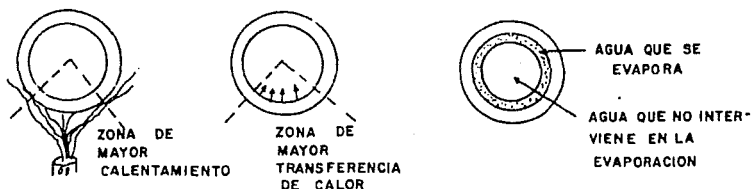
Como se puede observar, existe una diferencia muy notable con



respecto al cálculo teórico, la explicación para dicha diferencia se puede encontrar en las siguientes consideraciones:

- a) Fuertes pérdidas de calor en el evaporador
- b) La temperatura del fluido a la entrada del evaporador, no permanece constante.
- c) La distribución de temperaturas en el evaporador no es uniforme.

Estas consideraciones se pueden ver gráficamente en las siguientes Figuras:

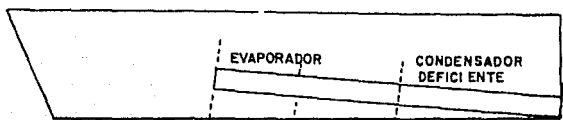


MODELO No. 2

Basados en las experiencias obtenidas con el modelo anterior y observando la diferencia que existía entre las pruebas prácticas y el cálculo teórico, fue necesario establecer una hipótesis que nos diera la pauta a seguir con el fin de reducir - el período del tren de impulsos. Esta hipótesis se apoya en el hecho de incluir una sección de condensación eficaz en el dis

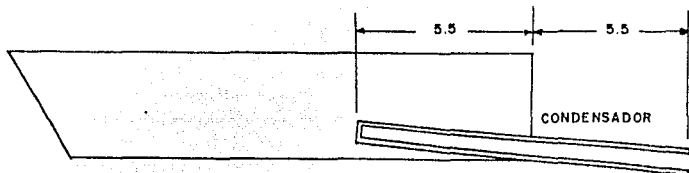
positivo, ya que como toda máquina térmica, su eficiencia depende de la diferenciación que exista entre los niveles de energía térmica entre los que opera.

En el Modelo No. 1, como se muestra en la siguiente Figura, la sección de condensación prácticamente no existe, pues se encuentra a bordo de la embarcación, el fluido refrigerante es el aire circundante que se encuentra a una temperatura elevada debido a su vecindad con el evaporador, teniéndose una transferencia de calor por convección libre, que ya por sí es sumamente deficiente.



En la construcción del modelo No. 2, tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se procedió a colocar fuera de la embarcación parte del dispositivo, que permanecerá sumergido en el agua circundante a la embarcación, con lo que se logrará de finir perfectamente una sección de condensación en el dispositivo, la cual estará a una temperatura constante, esto aunado a la ventaja que ofrece la transferencia de calor por convección forzada.

Los demás parámetros establecidos anteriormente, permanecerán con sus mismos valores.



Como se puede observar en la Figura anterior, la sección de condensación tiene una longitud de 5.5 cm que es exactamente la mitad del dispositivo. Esta medida se eligió con el fin de contar con un punto de partida.

Igual que en el modelo anterior, se procedió a la elaboración de una serie de cálculos teóricos, para ser comparados posteriormente con los resultados prácticos.

Se calculó lo que llamaremos período de condensación, cuyo significado veremos más adelante.

Cálculo de la capacidad de transferencia de calor del condensador:

$$q_c = h_c \cdot A_s \cdot (\Delta T)$$

$$h_c = 10,000.0 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$$

$$A_s = 2\pi \cdot r \cdot l = 2\pi (0.00325) (0.055)$$

$$A_s = 1.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_c - T_f = 100 - 15 = 85^\circ\text{C}$$

$$q_c = (10 \times 10^3) (1.12 \times 10^{-3}) (85) = 952 \text{ Kcal/Hr.}$$

$$q_c = 952.0 \text{ Kcal/Hr}$$

Cálculo de la cantidad de calor que fluye a la masa de vapor contenida en el interior del condensador:

$$q = m C_p \Delta T$$

$$m = P \cdot v \quad P = 0.60 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot l = \pi (0.00225)^2 (0.055)$$

$$v = 8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$m = (0.60) (8.7 \times 10^{-7})$$

$$m = 5.2 \times 10^{-7} \text{ kg}$$

$$T = 100 - 15 = 85^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1.007 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$q = 5.2 \times 10^{-7} \times 1.07 \times 85$$

$$q = 1.83 \times 10^{-5} \text{ Kcal}$$

Parámetros Geométricos:

$$\emptyset_{in} = 0.00450 \text{ m}$$

$$\emptyset_{ex} = 0.00650 \text{ m}$$

$$l_{co} = 0.055 \text{ m}$$

## Parámetros Térmicos:

$$T_{ex} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{in} = 100^{\circ}\text{C}$$

## Parámetros del Material:

$$C = 0.94 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$P = 8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 320.0 \text{ kcal/Hr m }^{\circ}\text{C}$$

## Parámetros del medio enfirante:

$$P = 1.0 \text{ kg/dm}^3$$

$$k = 0.50 \text{ kcal/hr m }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 1.0 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{PERIODO DE CONDESACION} = P_c = q/q_c$$

$$p_c = q/q_c = 1.83 \times 10^{-5} / 952.0 = 1.9 \times 10^{-8} \text{ Hr} = 6.9 \times 10^{-5} \text{ seg}$$

Este término que llamamos período de condensación, nos sirve para esperar un probable comportamiento del dispositivo, esto es:

Cuando se compara el período de evaporación, con el de condensación y el primero resulta de menor orden que el segundo, entonces nos encontramos en el caso de sobregeneración, esto es, que el evaporador está en condiciones de generar un tren de impulsos con cierta frecuencia, pero el condensador no sefa ca-

paz de responder a esta demanda, con lo cual se estará oponiendo al funcionamiento del dispositivo, por lo que su comportamiento será súmamente herrático, como sucedió en el Modelo 1.

Cuando por el contrario, el período de condensación es menor - al de evaporación, nos encontramos en el caso sobrecondensado, en éste, el comportamiento del dispositivo está dictado por el funcionamiento del evaporador, ya que el condensador estará capacitado para condensar cualquier cantidad de vapor que genere el evaporador.

Este segundo modelo, pertenece al grupo de sobrecondensados, como lo indican las pruebas físicas realizadas.

La parte concerniente al evaporador continuará funcionando bajo los mismos parámetros, por lo que todas las diferencias en su comportamiento con el primer modelo, sólo serán determinadas por la inclusión del dispositivo condensador.

#### PRUEBAS PRACTICAS DEL SEGUNDO MODELO

Como ya se indicó anteriormente, la única diferencia física entre el primer y segundo modelo, es el hecho de haber colocado en el exterior de la embarcación una parte del dispositivo impulsor, para crear una sección de condensación con el fin de hacer posible el ciclo térmico del dispositivo.

Para la realización de las pruebas, se siguió exactamente la misma secuencia de operaciones, y se mantuvieron con los mismos valores los demás parámetros.

De todas las pruebas realizadas con este modelo, a continuación se consignan los resultados promedio obtenidos:

Una vez alcanzadas las condiciones de operación, el dispositivo comenzó a funcionar en períodos continuos que variaron entre 30 y 50 segundos, con períodos de inactividad de aproximadamente 10 segundos, la frecuencia promedio registrada, fue de 50 impulsos por minuto.

Estos resultados como se puede observar de la comparación de los obtenidos en el primer modelo, mejoraron en cinco órdenes de magnitud, y comparándose con los cálculos teóricos, difieren aproximadamente en un 400%.

#### CONCLUSIONES.

Aunque el funcionamiento de éste modelo no se puede considerar óptimo, supera por mucho al anterior, ya que la frecuencia en los impulsos aumentó considerablemente, reduciéndose notablemente los períodos de inactividad.

Esta situación viene a confirmar las teorías que se han plan-

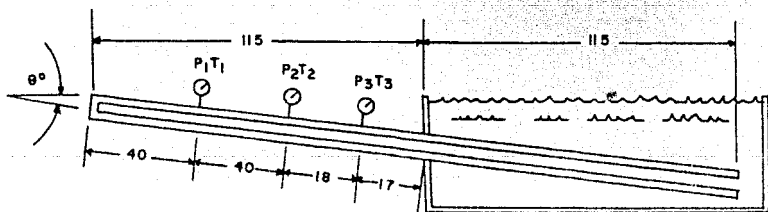
teado y nos marca la pauta para construir el siguiente modelo.

Respecto a la gran diferencia existente entre la frecuencia de evaporación real y la teórica, lo que podemos concluir es la necesidad de modificar la consideración hecha sobre el espesor de la sección anular de agua de evaporación, ya que seguramente en la práctica, el volumen de agua que cambia de fase es menor al considerado en el cálculo.

### MODELO No. 3

El Modelo No. 3 se construyó bajo la idea de poder recabar información cuantitativa sobre el comportamiento del dispositivo, y tratar de hacer continua su operación.

Con este fin, se aumentaron las dimensiones del modelo, y se incluyeron manómetros y termómetros a lo largo del dispositivo, con la idea de registrar sus mediciones a lo largo de las pruebas realizadas. Ver Figura.

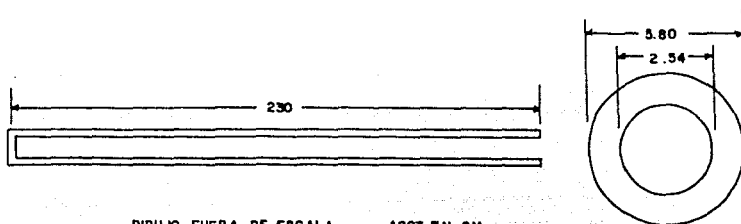


DIBUJO FUERA DE ESCALA ACOT. EN CM



Como se puede observar en la figura anterior, se optó por invertir la simulación, convirtiendo el dispositivo de impulsión en un dispositivo mezclador (ver capítulo de motor de impulsión), lo que no afecta los resultados obtenidos y en cambio facilita la realización de los experimentos.

Por consideraciones de tipo pecuniario, debido a las dimensiones del dispositivo, no fue posible construirlo de cobre como los modelos anteriores, en este caso se utilizó tubo de acero del conocido como tubo mecánico, con las siguientes medidas:



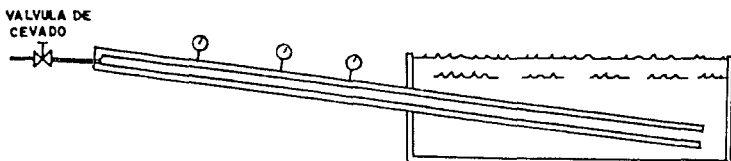
El primer termómetro (T1) tiene un rango de operación de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ , los dos restantes (T2 y T3) tienen un rango de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ . De los manómetros, el primero (P1) es un mano-vacuómetro con un rango de 76 cm. de Hg. a  $1 \text{ kg/cm}^2$  y el segundo y tercero (P2 y P3) tienen un rango de  $P_{at}$  a  $2 \text{ kg/cm}^2$ .

#### PRUEBAS REALIZADAS.

Originalmente se hizo el montaje del dispositivo como se indi-

có con anterioridad y se intentó hacerlo funcionar, sin ningún resultado; se variaron tanto la longitud del condensador, como el ángulo  $\theta$ , haciendo todas las combinaciones prácticas posibles y como ya se indicó no hubo resultados positivos.

En vista del fracaso obtenido, se planteó la hipótesis de que el problema radicaba en el hecho de que en el evaporador del dispositivo se encontraba atrapada una burbuja de aire, lo -- que impedía la entrada del fluido de trabajo a esta sección. Para solucionar este problema, se procedió a la instalación de una válvula de purga como se muestra en la siguiente Figura.



DIBUJO FUERA DE ESCALA

Una vez instalada la válvula mencionada, se procedió a purgar el dispositivo y se realizaron una serie de pruebas, variando tanto el ángulo  $\theta$ , como la longitud del condensador, en todas las combinaciones prácticas posibles, con lo que se logró un funcionamiento sumamente herrático y alejado completamente de los resultados esperados.

A continuación se muestra el reporte de una prueba típica en esta etapa de experimento.

### PRUEBA No. 1

REPORTE No. 26/5-4-7

#### CONDICIONES DE OPERACION.

Nivel del agua en el tanque de prueba, 100%

Sistema purgado.

Válvula de purga cerrada.

Angulo del dispositivo,  $\theta = 5^\circ$

Calentador, 1 soplete de gas.

Temperaturas y presiones iniciales:

$T1=T2=T3=20^\circ\text{C}$

$P1=P2=P3=P$  at

#### OBSERVACIONES

##### TIEMPO REAL

17:53: Inicio de la prueba

17:55 Se prende el calentador

17:57 Comienza a funcionar el motor

$T1=40^\circ\text{C}$  aumentando

$T2=21^\circ\text{C}$  aumentando

$T3=20^\circ\text{C}$  aumentando

El rango promedio de funcionamiento de los manómetros es de 2.5 cm de hg a  $0.1 \text{ kg/cm}^2$ .

La frecuencia promedio es de 64 impulsos por minuto.

17:59 Se detiene el motor

18:00 T1=72°C subiendo

T2=34°C subiendo

T3=25°C subiendo

18:02 Se producen aproximadamente 10 impulsos consecutivos y se detiene el motor.

T1=78°C

T2=42°C

T3=30°C

18:06 Empieza a funcionar nuevamente el motor.

El rango de variación de presiones es de 5 cm de hg a  $0.2 \text{ kg/cm}^2$ .

La frecuencia promedio es de 55 impulsos por minuto.

18:07 Se detiene el motor

T1=76°C

T2=43°C

T3=33°C

18:10 Sigue estático el motor

T1=72°C

T2=42°C

T3=32°C

18:11 Empieza a funcionar el motor

T1=83°C subiendo

T2=49°C subiendo

T3=37°C subiendo

El rango de presiones varía de 0.5 cm de hg a 0.2 --  
kg/cm<sup>2</sup>

La frecuencia promedio es de 59 impulsos por minuto.

18:12 Se detiene el funcionamiento del motor.

T1=85°C

T2=49.5°C

T3=37°C

18:13 Produce 8 impulsos y se detiene.

Produce 7 impulsos y se detiene.

Produce 8 impulsos y se detiene.

18:14 Permanece estático el motor.

T1=78°C

T2=47.5°C

T3=36°C

18:16 Permanece estático el motor.

T1=76°C

T2=47°C

T3=35°C

18:20 Permanece estático el motor.

T1=76°C

T2=46°C

T3=34°C

18:21 Fin de la prueba.

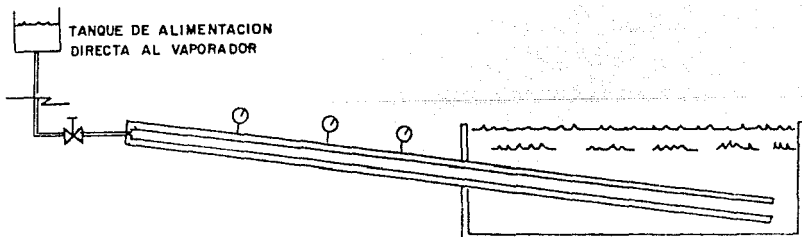
## CONCLUSIONES

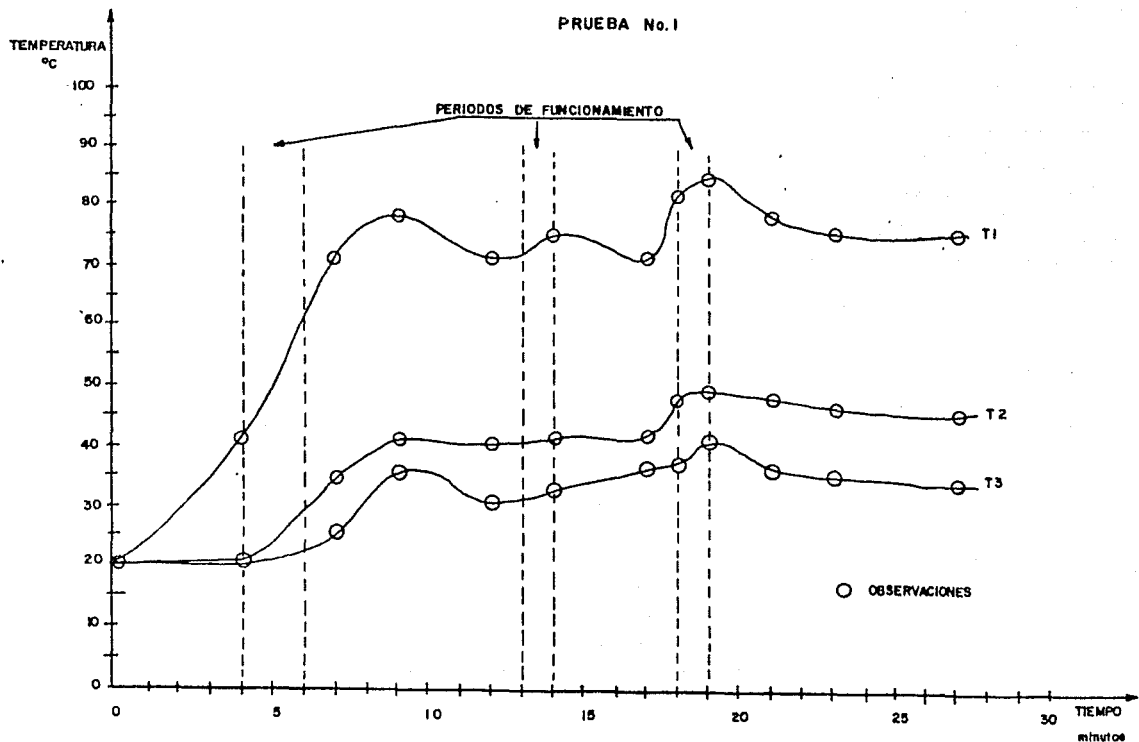
En la siguiente gráfica se representa la función de las temperaturas T1, T2 y T3 con respecto al tiempo, así mismo se marcan los periodos durante los cuales se mantuvo funcionando el dispositivo.

De la gráfica se puede observar que el tiempo de funcionamiento es sólo el 15% del tiempo total de la prueba. Otro hecho notable es el de que existe un incremento de las temperaturas -- siempre que funciona el dispositivo; esto se debe al proceso de convección forzada que se establece dentro del ducto.

Debido a los resultados obtenidos, se planteó la hipótesis de que el dispositivo no funcionaba por el hecho de que el agua, por alguna razón no llegaba al evaporador; para solucionar este problema se pensó en alimentar agua directamente al evaporador, por medio de la válvula de purga, como se muestra en la siguiente figura.

Con esta práctica los resultados obtenidos mejoraron notablemente. A continuación reproducimos el reporte de una prueba típica con este nuevo dispositivo.





## PRUEBA No. 2

REPORTE No. 32/20-5-7

## Condiciones de operación:

Nivel en el tanque de prueba 100%

Sistema purgado, válvula cerrada

Tanque de alimentación, conectado a la válvula de purga.

Angulo del dispositivo  $\theta=5^\circ$ 

Calentador, un soplete de gas

Temperaturas y presiones iniciales

 $T1=T2=T3=20^\circ\text{C}$  $P1=P2=P3=Pat.$ 

## OBSERVACIONES

## TIEMPO REAL

- 17:17 Inicio de la prueba.  
Se prende el calentador.
- 17:19 El dispositivo permanece estático  
 $T1=28^\circ\text{C}$   
 $T2=22^\circ\text{C}$   
 $T3=21^\circ\text{C}$
- 17:20 Se abre la válvula de purga para permitir al agua penetrar en el evaporador.  
 $T1=76^\circ\text{C}$   
 $T2=46^\circ\text{C}$   
 $T3=34^\circ\text{C}$



El gasto del tanque de alimentación es de  $2.22 \text{ cm}^3/\text{seg}$

Empieza a funcionar el motor

T1=90°C

T2=54°C

T3=40°C

El rango de presiones es de 0.5 cm de hg a  $0.1 \text{ kg/cm}^2$

Las oscilaciones son disperejas

La frecuencia es de 62 impulsos por minuto.

17:24 Se mantiene funcionando el motor

Las oscilaciones se vuelven regulares

La frecuencia es 80 impulsos por minuto.

El rango de presiones es de 2 cm de hg a  $0.4 \text{ kg/cm}^2$

T1=88°C

T2=53°C

T3=44°C

17:26 Se mantiene funcionando el motor regularmente

El rango de presiones se mantiene

T1=86°C

T2=50°C

T3=43°C

La frecuencia se mantiene

17:31 Sigue funcionando regularmente

T1=88°C

T2=43.5°C

T3=32.5°C

18:20 El motor sigue funcionando normalmente

T1=87°C

T2=51°C

T3=42°C

18:21 Fin de la prueba.

De la gráfica de la Prueba No. 2 se desprende lo siguiente:

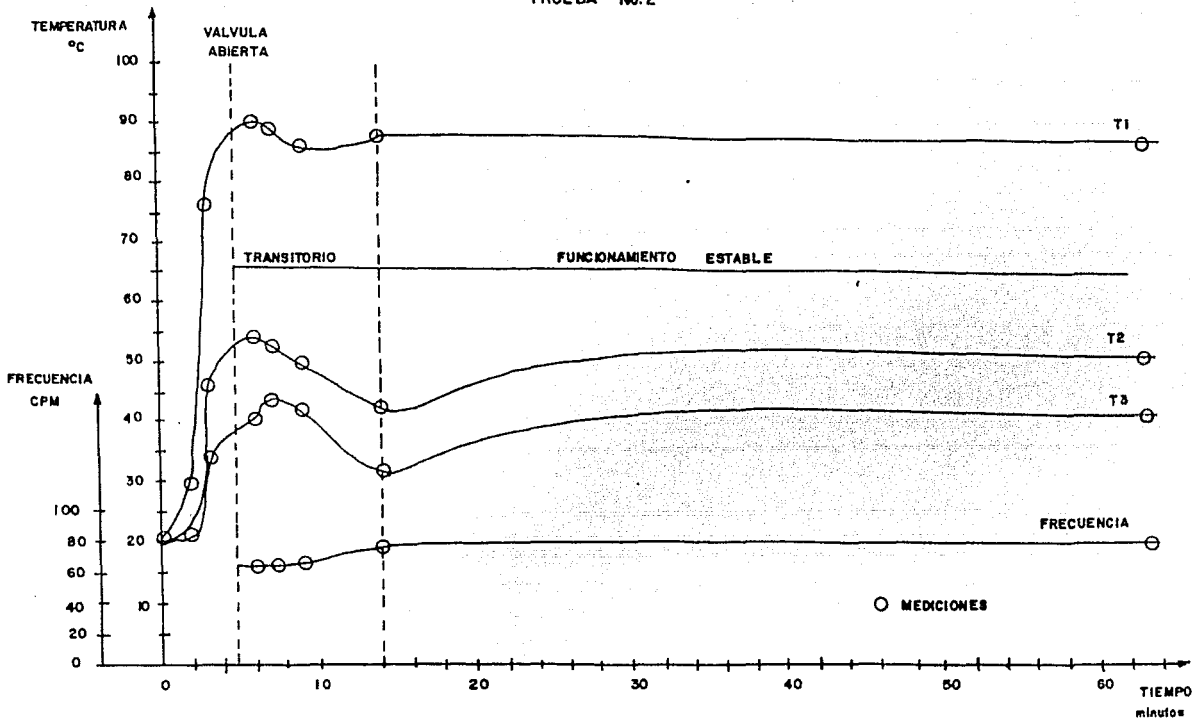
- a) De 0 a 5 minutos de iniciada la prueba, se observó un aumento de temperatura en todos los termómetros.
- b) A los 5 minutos se abre la válvula de alimentación directa al evaporador, con el gasto indicado anteriormente, empezando a funcionar el motor inmediatamente con una frecuencia máxima estable de 80 ciclos por minuto, a los 15 minutos de haber iniciado la prueba.

La temperatura en este período disminuye.

- c) A partir de los 15 minutos, el funcionamiento del dispositivo adquiere un comportamiento estable en su frecuencia y temperatura.

A continuación reproducimos los reportes de algunas de las muchas pruebas realizadas, con el objeto de obtener mayor información al variar algunos de sus parámetros, como son el ángulo  $\theta$ , el nivel del agua del tanque de prueba, el gasto del tanque de alimentación.

PRUEBA No.2



## PRUEBA No. 3

REPORTE No. 18/4-16-7

## CONDICIONES DE OPERACION:

Nivel del agua en el tanque de prueba, 53 cm de altura

Sistema no purgado

Tanque de alimentación conectado a la válvula de purga

Angulo del dispositivo,  $\theta=8^\circ$

Calentador, un soplete de gas

Temperaturas y presiones iniciales:

$T1=T2=T3=20^\circ\text{C}$

$P1=P2=P3=Pat.$

## OBSERVACIONES

TIEMPO  
REAL

11:02 Inicio de la prueba

$T1=36^\circ\text{C}$

$T2=23^\circ\text{C}$

$T3=20^\circ\text{C}$

El dispositivo no funciona

11:18 Se abre la válvula de purga a intervalos

$T1=88^\circ\text{C}$

$T2=65^\circ\text{C}$

$T3=50^\circ\text{C}$

El dispositivo no funciona.

11:22 Empieza a funcionar el motor

El gasto en el tanque de alimentación directa  
es de  $0.44 \text{ cm}^3$  por minuto.

## OBSERVACIONES

TIEMPO  
REAL

T1=92°C

T2=61°C

T3=50°C

El rango de presiones es de 4 cm de Hg a 0.3 Kg/cm<sup>2</sup>

11:38 Sigue funcionando normalmente.

El rango de presiones es de 5 cm de Hg a 0.3 Kg/cm<sup>2</sup>

T1=95°C

T2=90°C

T3=77°C

La frecuencia de operación es de 68 impulsos por minuto.

Altura en el tubo Pitot, 6.3 mm de H<sub>2</sub>O

11:48 Se varía el ángulo  $\theta$  a 5.5°

Se varía el gasto del tanque de alimentación directa a 1.5 cm<sup>3</sup> por minuto.

T1=92°C

T2=93.5°C

T3=90°C

Las presiones varían de 1 cm de Hg a 0.15 Kg/cm<sup>2</sup>

La frecuencia es de 54 impulsos por minuto

12:05 Se varía el ángulo  $\theta$  a 2.5°

Se cierra la alimentación del tanque

T1=90°C

T2=88°C

T3=80°C

## OBSERVACIONES

TIEMPO  
REAL

El dispositivo no funciona

12:13 Se abre la válvula de alimentación directa a

$1.62 \text{ cm}^3$  por minuto

Empieza a funcionar el motor

La frecuencia es de 60 impulsos por minuto

T1=  $92^\circ\text{C}$

T2= $94^\circ\text{C}$

T3= $93.5^\circ\text{C}$

Las presiones varían de 1.5 cm de Hg a 0.1

$\text{Kg/cm}^2$

12:20 Se varía el ángulo  $\theta$  a  $0^\circ$

Se suprime el flujo del tanque de alimentación  
directa

T1= $94^\circ\text{C}$

T2= $92^\circ\text{C}$

T3= $85^\circ\text{C}$

Las presiones varían de 3 cm de Hg a  $0.25 \text{ Kg/cm}^2$

12:25 Se detiene el motor

12:28 Fin de la prueba.

En la prueba reportada anteriormente, se puede notar la inclusión de un tubo Pitot con el fin de lograr una medida de la presión de estancamiento a la salida del dispositivo y así poder determinar la fuerza de empuje del chorro de agua.

Del reporte anterior se desprende lo siguiente:

$$1 \text{ mm de agua} = 1 \text{ Kg/m}^2$$

$$6.3 \text{ mm de agua} = 6.3 \text{ Kg/m}^2$$

La velocidad de salida es:

$$v = 2gh$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 6.3 \times 10^{-3}$$

$$v = 0.123 \text{ m/s}$$

El gasto del dispositivo es:

$$Q = v \cdot a$$

$$v = 0.123 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r = 0.0127 \text{ m}$$

$$A = 3.14 \times (0.0127)^2$$

$$A = 5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 0.123 \times 5.06 \times 10^{-4}$$

$$Q = 6.22 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

El gasto en masa es:

$$m = 6.22 \times 10^{-2} \text{ Kg/s}$$

La fuerza de empuje está dada por:

$$F = m v$$

$$m = 6.22 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$$

$$v = 0.123 \text{ m/s}$$

$$F = 6.22 \times 10^{-2} \times 0.123$$

$$F = 7.65 \times 10^{-3} \text{ kg m/s}^2$$

$$F = 7.79 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

### C O N C L U S I O N E S

Como se puede observar de los cálculos anteriores, aunque el funcionamiento del dispositivo es contínuo, la fuerza de empuje no es significativa, por lo que el dispositivo no es capaz de impulsar una embarcación. Este fué el principal problema -- con que nos enfrentamos, y para lograr solucionarlo se realizaron innumerables pruebas con combinaciones diferentes de parámetros, sin ningún resultado positivo.

Cabe hacer mención de una ocasión durante una de las pruebas, en que se logró obtener un funcionamiento óptimo del dispositivo durante unos cuantos segundos, se alcanzaron presiones muy por encima de  $2 \text{ kg/cm}^2$  que no fue posible registrar debido a la destrucción de todos los instrumentos de medición para este -- efecto, en virtud de las altas presiones alcanzadas. El hecho ocurrió cuando el dispositivo funcionaba normalmente durante una de las pruebas, y súbitamente fue enfriada la sección -- comprendida entre los instrumentos P2, T2 y P3, T3; es de mencionar también, el hecho de que no fué posible repetir la experiencia a pesar de los numerosos intentos efectuados.



REPORTE No.28/5-8-7

CONDICIONES DE OPERACION:

Nivel del agua en el tanque de prueba, 35.5 cm

Angulo de inclinación  $\theta=5.5^\circ$

Longitud del condensador, 115 cm

Sistema purgado

Valvula de purga, cerrada

Calentador, un soplete de gas.

TIEMPO REAL	OBSERVACIONES
----------------	---------------

18:36	Inicio de la prueba
-------	---------------------

$T_1=T_2=T_3=20^\circ\text{C}$

$P_1=P_2=P_3=Pat.$

Se prende el quemador.

18:40	Empieza a funcionar el motor
-------	------------------------------

$T_1=43^\circ\text{C}$

$T_2=20^\circ\text{C}$

$T_3=20^\circ\text{C}$

Las presiones varían de 2cm de Hg a  $0.2 \text{ Kg/cm}^2$

18:45	Se para el motor
-------	------------------

18:48	Empieza a funcionar el motor
-------	------------------------------

$T_1=77^\circ\text{C}$

$T_2=42^\circ\text{C}$

$T_3=35^\circ\text{C}$

Las presiones varían de 4 cm de Hg a  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$

TIEMPO  
REAL

OBSERVACIONES

47.

- 18:51 Se mantiene constante el funcionamiento del motor
- 18:55 Se cambia el ángulo  $\theta$  a  $2^\circ$   
T1=85°C  
T2=51°C  
T3=41°C  
Se detiene el motor
- 19:00 Empieza a funcionar el motor  
T1=90°C  
T2=58°C  
T3=47°C  
Las presiones varían de 3 cm de Hg a 0.2 Kg/cm<sup>2</sup>  
La frecuencia es de 70 impulsos por minuto
- 19:05 Se mantiene constante el funcionamiento del motor
- 19:10 Se cambia bruscamente el ángulo  $\theta$  a  $0^\circ$   
Las presiones varían de 8 cm de Hg a 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>  
T1=93°C  
T2=67°C  
T3=56°C  
Se detiene el motor
- 19:30 Se cambia el ángulo  $\theta$  a  $8^\circ$   
T1=89°C  
T2=55°C  
T3=43°C  
Sigue sin funcionar el motor
- 19:45 Se cambia el ángulo  $\theta$  a  $6^\circ$

- No funciona el motor
- 19:47 Empieza a funcionar el motor  
T1=95°C  
T2=63°C  
T3=50°C  
El rango de presiones es de 3 cm de Hg a 0.15 Kg/cm<sup>2</sup>
- 19:51 se detiene el motor
- 19:53 Se procede a alimentar agua directamente al evaporador por medio de la valvula de purga  
Empieza a funcionar  
T1=93°C  
T2=90°C  
T3=70°C  
El rango de presiones es de 2 cm de Hg a 0.1 Kg/cm<sup>2</sup>  
El gasto del tanque de alimentación es de 2.22 cm<sup>3</sup>/seg  
La frecuencia es de 56 impulsos por minuto  
Se varía el gasto, pero no se nota cambio en el comportamiento del dispositivo
- 20:07 Se cambia el angulo  $\theta$  a 4°  
Sigue funcionando  
T1=95°C  
T2=93°C  
T3=75°C

TIEMPO  
REAL

OBSERVACIONES

491

El rango de presiones es de 4cm de Hg a 0.9  
Kg/cm<sup>2</sup>

La frecuencia es de 60 impulsos por minuto

El gasto en el tanque de alimentación es de  
0.59 cm<sup>3</sup>/seg

20:40 Fin de la prueba

## CONCLUSIONES GENERALES DEL MODELO No. 3

Analizando los resultados de las distintas pruebas y haciendo un estudio comparativo de su comportamiento, se puede notar que los resultados son similares y que al variar los distintos parámetros establecidos, no son apreciables cambios considerables en el funcionamiento del motor ya que el intervalo de presiones promedio de todas las lecturas registradas, oscila entre 4 cm de Hg y  $0.3 \text{ Kg/cm}^2$ , razón por la cual, la fuerza de empuje es mínima. Respecto a las temperaturas, se observó que cuando T2 y T3 tienden al valor de T1, el funcionamiento disminuye en cuanto a la fuerza de empuje.

El mejor comportamiento observado con este modelo, a lo largo de todas las pruebas efectuadas se describe a continuación, indicando los parámetros óptimos obtenidos

## PARAMETROS OPTIMOS:

Longitud del condensador: Entre el 40% y 50% de la longitud del dispositivo.

Angulo del ducto: Positivo, entre  $3^\circ$  y  $7^\circ$

Longitud del evaporador: Entre 15 cm y 20 cm

## LECTURAS CORRESPONDIENTES A LOS PARAMETROS OPTIMOS:

Frecuencia: 80 impulsos por minuto.

Rango de presiones: De 4 cm de Hg a  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$ .

Temperaturas:  $T_1=87^\circ\text{C}$ ,  $T_2=54^\circ\text{C}$ ,  $T_3=41^\circ\text{C}$

Fuerza de empuje:  $F=7 \times 10^{-4} \text{ Kg}$

Velocidad del chorro a la

salida:  $v=0.123 \text{ m/s}$

Gasto del impulsor:  $Q=6.22 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Gasto del tanque de ali-

mentación:  $q=2.22 \text{ cm}^3/\text{s}$

Sin embargo, la experiencia obtenida en este tipo de pruebas, nos señala algunas características que debiera tener un futuro modelo, con el fin de continuar la experimentación, en el que se reunieran mejores características tanto en materiales, como en instrumentos de medición..

Basados en la experiencia, podemos citar las siguientes sugerencias:

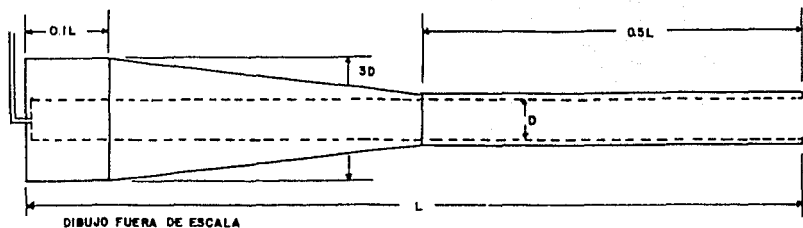
a) El material del dispositivo impulsor debiera ser cobre electrolítico, con el fin de garantizar altas transferencias de calor.

b) El espesor de la pared en la sección de evaporación, debiera ser cuando menos igual al diámetro interior del ducto, con el fin de lograr una gran capacidad térmica, para tener un funcionamiento continuo de alta frecuencia de operación. Ver figura.

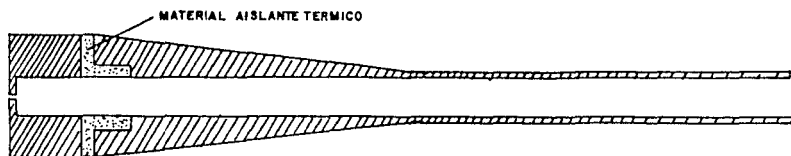
c) El espesor de pared en el sector de condensación, debiera ser como máximo de  $1/8$  del diámetro interior del ducto. Esto es con el objeto de lograr una gran transferencia de calor, que garantice una adecuada capacidad de condensación.

Entre la sección de evaporación y condensación, se sugiere que el espesor de la pared varíe uni-

formemente. (Ver Fig.)



d) Debe existir un aislamiento térmico, entre la sección de evaporación y el resto del ducto, con el fin de evitar pérdidas de calor por conducción a través de la pared del dispositivo, como se ve en la fig.



DIBUJO FUERA DE ESCALA

e) De la experiencia obtenida, se sugiere que el ángulo  $\theta$  deberá ser positivo con un valor entre  $3^\circ$  y  $7^\circ$ . La longitud del condensador, será aproximadamente un 50% de la longitud total del ducto, la del precalentador de un 40% y la del evaporador del 10% restante.

f) Respecto a los instrumentos de medición, se debiera contar con los siguientes:

Un juego de pirómetros para determinar la temperatura tanto en la pared interior como exterior del evaporador.

Un juego de termómetros industriales para medir las temperaturas interiores a lo largo de todo el ducto.

Un juego de mano-vacuómetros distribuidos a lo largo de las zonas de evaporación y precalentamiento.

Un juego de manómetros con dispositivo amortiguador de pulsaciones, colocados a todo lo largo del ducto, para establecer con exactitud el gradiente de presiones.

g) Instalación de una valvula de una sola dirección de flujo (valvula "check"), en la entrada de agua de alimentación directa al evaporador, para evitar cualquier pérdida de presión positiva en el momento de la expulsión.

Pensamos que con la inclusión de esta serie de recomendaciones, en un futuro dispositivo sera factible optimizar el funcionamiento.



### III CONSTRUCCION DE LA EMBARCACION DE FERROCEMENTO;

#### INTRODUCCION.

Con objeto de contribuir al problema económico por el cual está pasando el país, se ha pensado en construir una embarcación considerandose un método propio para producir en serie tomando en cuenta estos elementos.

Se decidió trabajar con el Ferrocemento que es un material formado por varias capas de malla ahogadas en un mortero de cemento portland; los dos materiales al trabajar en conjunto, adquieren ciertas propiedades físicas y mecánicas que lo hacen atractivo para su aplicación en variados usos; desde la construcción de pequeños silos, hasta su empleo en la construcción de grandes barcos y cubiertas de claros importantes.

Las mallas utilizadas como refuerzo, pueden ser de varios tipos y calibres, dependiendo su elección principalmente de la facilidad de su adquisición en el mercado y la eficiencia de las mismas como elementos de refuerzo, entendiendocomo eficiencia el costo del material por  $\text{kg/cm}^2$  de la resistencia a la tensión.

Entre las características principales del Mortero se pueden mencionar, que deben tener baja permeabilidad lo cual implica

la utilización de arenas bien graduadas y alto consumo de cemento, las mínimas contracciones por secado y una maniobrabilidad adecuada para las condiciones de trabajo que se empleen. Lo anterior conduce a morteros de alta resistencia a compresión superior a  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

#### DIMENSIONES PRINCIPALES Y PLANO DE LINEAS.

Para referirnos a una embarcación cualquiera cuando queremos dar una idea de su tamaño, lo hacemos teniendo en cuenta la magnitud de sus principales dimensiones.

Estas dimensiones estarán dadas en metros, excepto el desplazamiento cuya unidad será toneladas o kilogramos en el caso de un buque menor.

En nuestro caso particular las principales dimensiones que deberemos tener en cuenta serán:

Eslora (L) se mide en metros.

Manga (B) " " " "

Calado (H) " " " "

Puntal (D) " " " "

Desplazamiento (A) se mide en toneladas o kilogramos.

Eslora (L):

Debemos tener en cuenta dos clases de eslora según la forma de medirlas en el buque: Eslora total, que es la distancia - máxima que posee de proa a popa; y la Eslora en flotación, - que la distancia en metros medida en la línea de flotación - desde la cara de proa de la roda hasta la cara de popa del - espejo de popa.

Manga (B):

Es el ancho máximo que posee la embarcación generalmente medido en una sección transversal.

La manga máxima no necesariamente debe hallarse en la mitad de la longitud de la eslora total, pudiéndose hayar a popa o proa de esa mitad; también puede recibir el nombre de sección maestra.

Puntal (D):

Es la distancia medida en la sección maestra desde la cara - alta de la quilla al canto alto del bao.

Calado (H):

Cuando hablamos del calado de una embarcación este nos debe dar la idea de la profundidad mínima en la cual el buque puede flotar libremente, o dicho de otra manera es la distancia

que existe entre la línea de flotación y la parte más baja de la quilla.

En la mayor parte de los buques la quilla no es paralela a la flotación, por lo cual el calado a popa es mayor que a proa, distinguiéndose dos clases de calados, cuya diferencia se llama diferencia de calados, así como el calado medio, que es el promedio de los calados extremos.

#### QUEBRANTO Y ARRUFO.

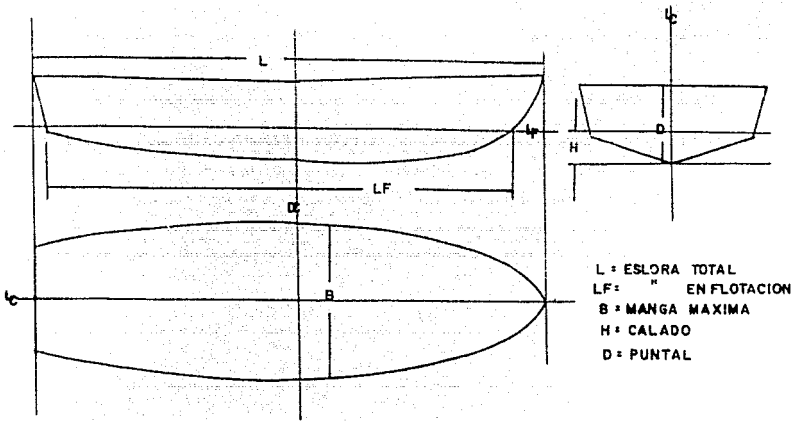
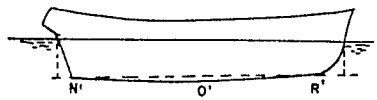
Sucede a veces que la quilla se deforma. Si lo hace como en la Fig. el calado medio es mayor que el calado en el medio



y la diferencia entre estos dos calados es el quebranto, el cual alcanzaba valores considerables en los buques de madera, pero hoy, en los de acero, rara vez excede de 0.6 cm.

La causa de ésta deformación permanente suele ser los esfuerzos longitudinales a que se ve sometida la estructura del buque cuando éste descansa por su centro en la cresta de una ola quedando sin apoyo a sus extremos, sobre todo cuando su construcción es débil ó muy intensas las causas que le obligan a trabajar a la flexión.

Si la quilla toma la forma de la Fig. , el calado medio es menor que el calado en el centro del buque, y la diferencia entre ambos calados es el arrufo.

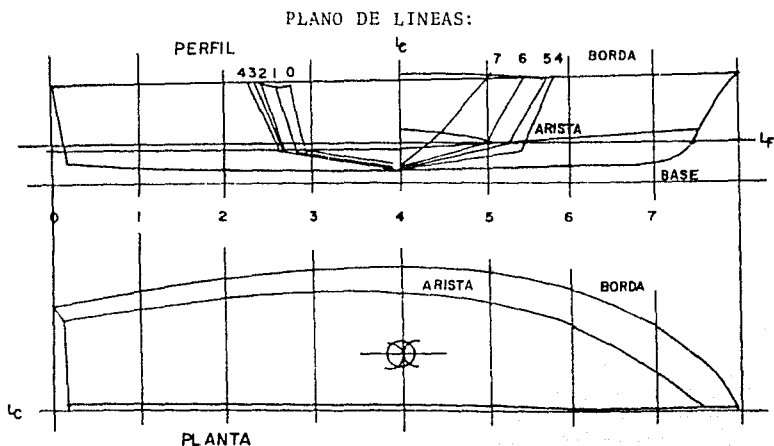


- L = ESLORA TOTAL
- LF = " EN FLOTACION
- B = MANGA MAXIMA
- H = CALADO
- D = PUNTAL

PLANOS DE LINEAS:

La importancia del plano de líneas es enorme en el diseño de un buque porque la mayoría de los cálculos que el proyecto insume parten de una base la cual es un plano de líneas. En la Figura que a continuación se muestra vemos un plano de este -

tipo para un bote de motor con fondo en V:



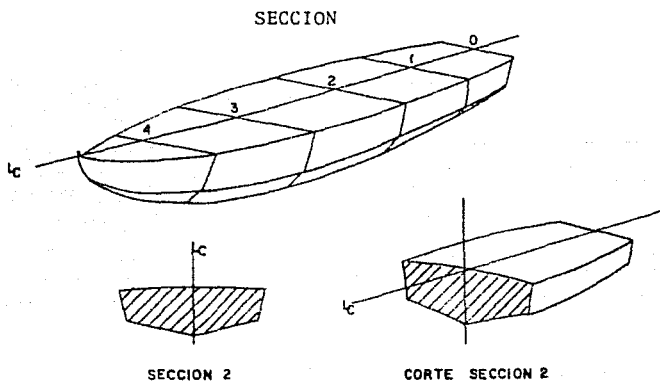
En la planta vemos al bote desde arriba o sea que representamos las líneas de borda, arista y la quilla, o sobre quilla si ésta existe.

Para hacerlo más sencillo se dibuja la mitad de la planta -- del bote. En el perfil vemos al bote de costado representando la línea de borda, arista, roda y espejo de popa, como -- así también la línea curva que representa la quilla.

Es de hacerse notar que el perfil de una embarcación cualquiera en un plano de líneas se dibuja siempre con la proa -- hacia la derecha, ésto debemos tenerlo en cuenta cuando dibujemos la embarcación que deseamos construir.

Cada sección nos representará el bote como cortado en ese punto, suponiendo para mejor comprensión que fuera macizo.

Cuando dibujemos un plano de líneas cualquiera, debemos recurrir a la tabla de puntos que es muy importante pues en ella tenemos todas las medidas necesarias para dar la forma que ha de tener el buque una vez terminada.

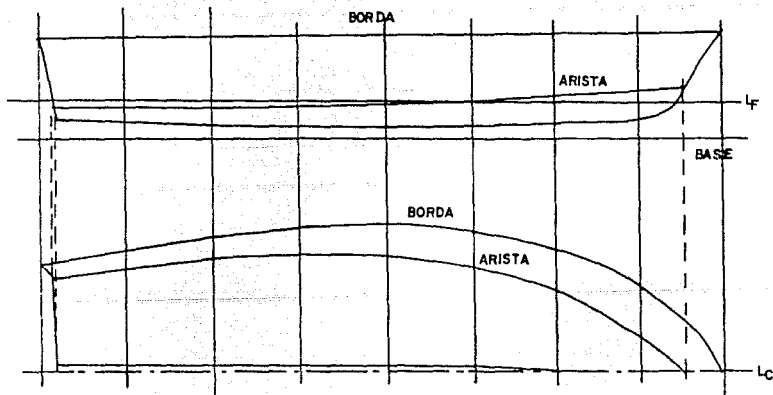


El uso de la Tabla de Líneas es muy sencilla, pero debemos tener en cuenta los siguientes detalles:

- 1.- Las medidas siempre vienen dadas en mm.
- 2.- Para las alturas, las medidas se tomarán desde una línea de base como origen.
- 3.- Los semianchos se tomarán desde la línea central de la embarcación o línea de crujía.
- 4.- Todas las medidas que se dan no incluyen el espesor del forro.

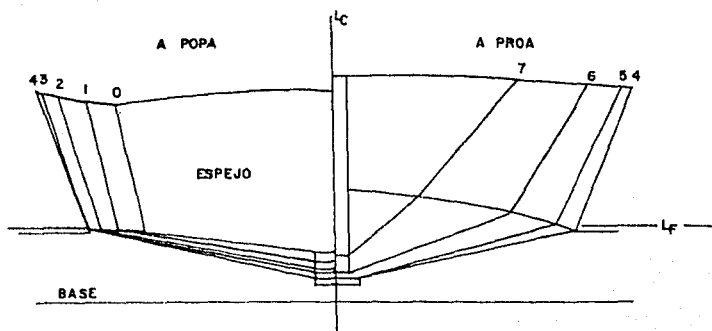
PROYECCIONES:

PROYECCION DE LOS PUNTOS PARA EL TRAZADO DE LAS CURVAS  
DE ARISTA Y BORDA:

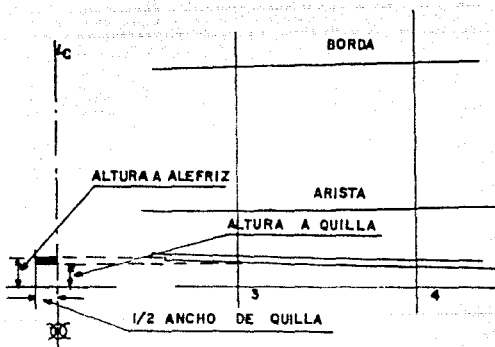




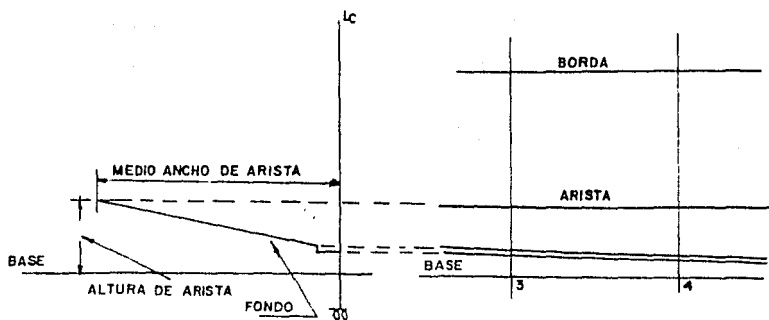
## VISTA SECCIONAL



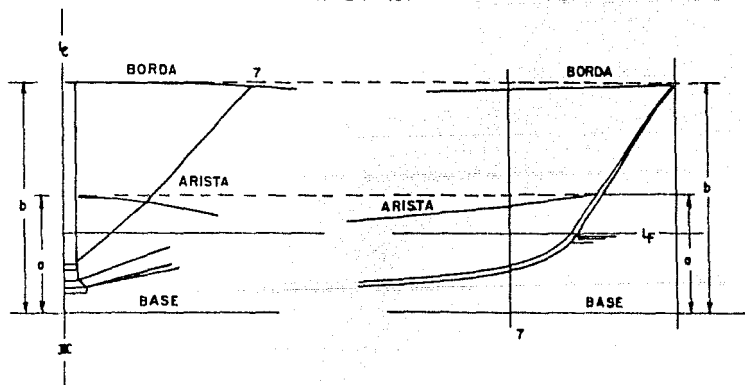
## PROYECCION DE LA QUILLA



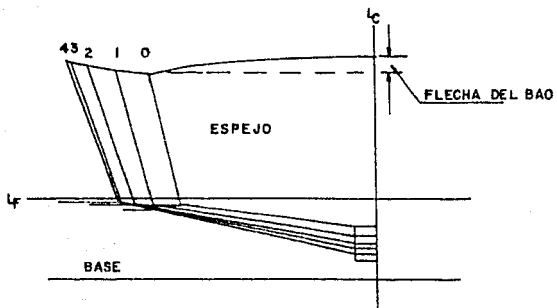
PROYECCION DE LA LINEA DE ARISTA



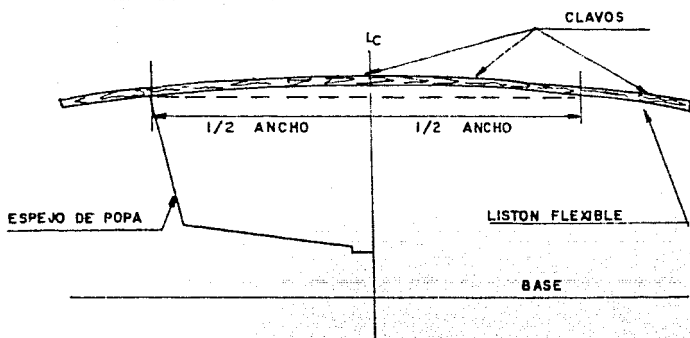
PROYECCION DE LAS LINEAS DE BORDA Y ARISTA EN LA RODA

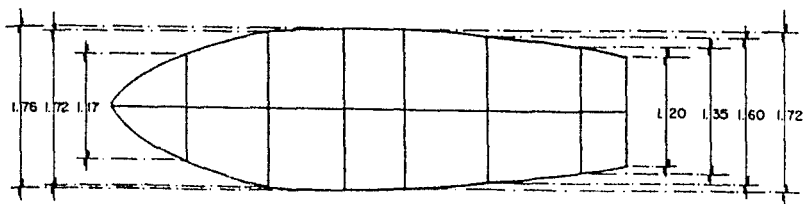


## PUNTOS DE UNION DE LA POPA

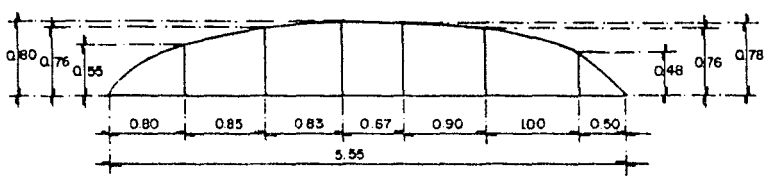


## BOLEO DEL BAO EN EL ESPEJO

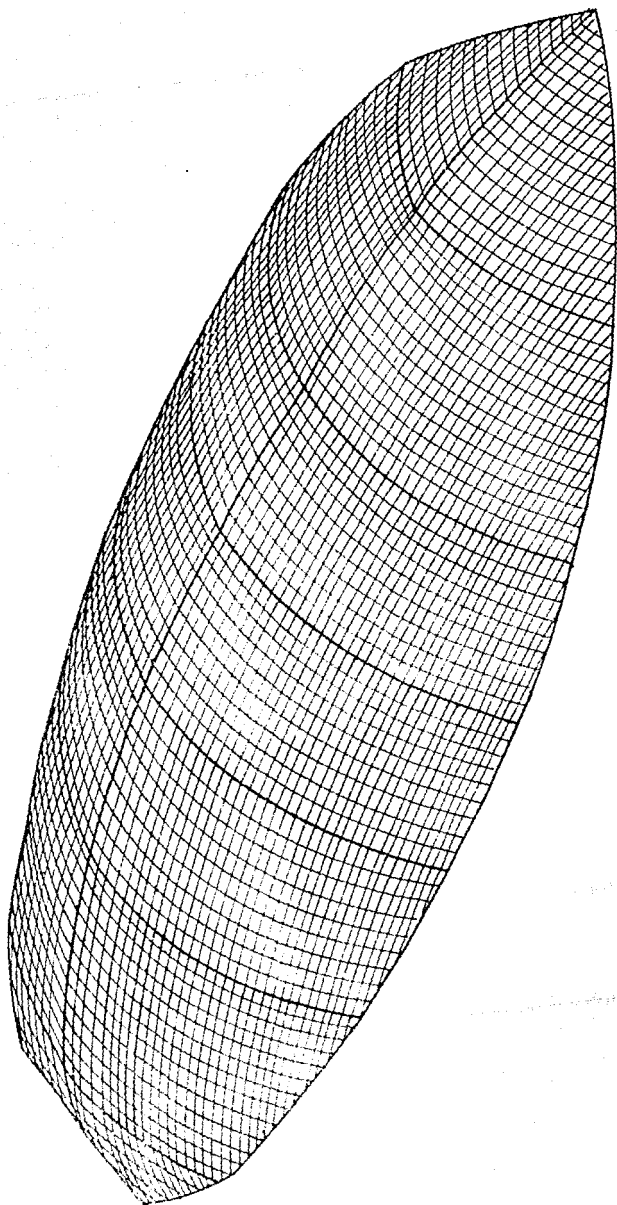




VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



## DESPLAZAMIENTO.

Veamos, en primer lugar, por qué flota un buque. Consideremos un bote descendiendo de los pescantes que lo suspenden.

Desde el momento que soltamos las tiras de los aparejos que lo retienen, desciende arrastrado por su propio peso, va aproximadamente al agua, llega a la superficie de ésta, se sumerge en ella gradualmente y de repente cesa su movimiento descendente, ya los aparejos no suspenden la embarcación y, sin embargo, no se hunde más en el agua.

El bote ha descendido por la acción de una fuerza constante, que obra de arriba abajo, perpendicularmente a la superficie del agua; ésta fuerza es la gravedad. Como es una obra constante, obra todavía sobre el bote en el momento en que flota, y tiende a sumergirlo; es preciso, pues, que exista una fuerza que actuando en sentido contrario se oponga a la acción de la gravedad.

La mecánica y el buen sentido indican que esta fuerza ha de ser constante e igual a la de la gravedad, obrando de abajo - arriba para que su acción sobre el bote que flota produzca el equilibrio.

Pues bien: esta fuerza es la presión del agua sobre la parte

sumergida del casco. Es el empuje del líquido separado, desplazado por el bote. Este empuje crece, naturalmente, con el volumen sumergido del casco; en el momento en que la quilla, en su movimiento de descenso, entró en el agua, el bote sufrió ya un ligero empuje de abajo arriba; a medida que se ha ido hundiendo, este empuje fué aumentado con el volumen sumergido de la carena, que también crece; por último, llegó un momento en que el empuje del agua se hizo igual al peso del bote, y como estas dos fuerzas son antagonistas, la embarcación permaneció inmóvil, es decir, flotó.

Ahora bien, este momento no llega hasta que el peso del volumen del agua desplazada por la parte sumergida es igual al peso de la embarcación.

La demostración experimental es sencillísima; tomemos un pequeño modelo de un bote, y supondremos que pesa dos kilogramos; llenemos completamente de agua hasta sus bordes un recipiente de magnitud adecuada y coloquemos nuestro pequeño buque en el recipiente; el agua desbordará, y si recogemos lo que cae del recipiente, encontraremos que su peso es de dos kilogramos, es decir, exactamente igual al del modelo. En una palabra: un barco que flota desplaza un peso de agua igual al suyo; por lo tanto, DESPLAZAMIENTO y peso de un buque son expresiones sinónimas.

Este principio de equilibrio de los cuerpos flotantes, que --

constituye la base de la arquitectura naval, es conocido -- desde el año 212 antes de J.C. con el nombre de su inventor el famoso geómetra de Siracusa, Arquímedes. El desplazamiento se expresa en toneladas de 1.000 kgms. Los ingleses lo expresan en toneladas inglesas; una de éstas equivale a 1.016 kgms.

El desplazamiento de un buque es esencialmente variable con el estado de carga; más, entre todos por los que el buque -- puede pasar, se distinguen tres como principales:

DESPLAZAMIENTOS EN: ROSCA; LASTRE Y CARGA. EXPONENTE DE CARGA Y PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

DESPLAZAMIENTO EN ROSCA: Es el correspondiente al del buque que acaba de ser botado al agua.

DESPLAZAMIENTO EN LASTRE: El que adquiere cuando está armado sin contener todavía carga ni cargo alguno.

DESPLAZAMIENTO EN CARGA: El que alcanza cuando está listo para salir a la mar con todos los pertrechos que dentro de un cierto límite puede conducir.

EXPONENTE DE CARGA: Es la diferencia entre los desplazamientos en carga y en rosca.



El exponente de carga comprende por consiguiente, todo lo que no forma parte del casco, es decir, la máquina, las calderas, las grúas, los chigres, los botes, las anclas, el carbón, el agua, los víveres, la dotación, la carga, etc.. El valor de este exponente oscila entre 40 y 50% en los buques de madera y es de un 30% en los de hierro de algún tamaño, siendo mayor en los más pequeños. Se expresa en centímetros del desplazamiento total. Así, cuando veamos que a un buque de 4.420 ton. de desplazamiento total se le asigna un exponente de carga re presentado por 0,38 entenderemos que la diferencia entre el desplazamiento de carga y el de rosca es de:

$$4.420 \times 0,38 = 1.679,60$$

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES: Las condiciones de flotabilidad de un buque son un caso particular del principio general de Arquímedes; el cual consiste en: Todo cuerpo sumergido en un líquido sufre una disminución en su peso, y parece que pierde de éste una parte igual al peso del volumen del líquido desplazado. Por consecuencia, un buque se sumergirá más o menos según la naturaleza del líquido en el cual flote, ó, lo que es lo mismo, según cual sea el peso del metro cúbico del líquido, a cuyo peso se le da el nombre de densidad. Así, un buque que pesa 10 ton. deberá desplazar, para que flote, igual número de toneladas del líquido en el cual está colocado. Si éste es agua dulce, será necesario que el buque sumerja un volumen de  $10 \text{ m}^3$  puesto que  $10 \text{ m}^3$  de agua dulce pesan 10 ton.; si el líquido es agua salada bastará que sumerja un volumen -

de  $9,74 \text{ m}^3$ , pues esta cantidad de agua del mar pesa 10 ton., ya que la densidad del agua salada es 1,026. De aquí que cuando un buque pasa de la mar a un río. Su inmersión aumenta inversamente, aumento que dista mucho de ser despreciable, toda vez que representa próximamente  $1/40$  del volumen total de la carena.

Por último, el mismo buque, para flotar en el éter, desplazaría un volumen de  $13 \text{ m}^3$ , pues este volumen de éter pesa 10 ton., es decir, que en este caso el buque se sumergiría casi la tercera parte más que en el anterior.

De aquí se deduce que es necesario prever el grado de inmersión de un buque.

Tres casos pueden presentarse:

- 1°- Que el peso total de un buque sea inferior al de un volumen exterior de todo el barco, en el momento en que se establezca el equilibrio entre el empuje del agua y la gravedad, flotará el buque, permaneciendo por encima del agua una cierta parte del casco. Cuanto más se cargue el buque, menor será el volumen emergente y mayor el sumergido.
- 2°- Que el peso del barco sea igual al de un volumen de agua

equivalente al volumen exterior de todo el casco; en este caso, el buque se hundirá hasta que el agua quede a la altura de la cubierta; el menor aumento de peso le hará irse a pique.

- 3°- Que en las condiciones del caso anterior se introduzca en el buque un peso superior al del volumen de agua representado por la pequeña parte del casco que quedaba fuera del agua; la gravedad vencerá al empuje y el buque se irá a pique.

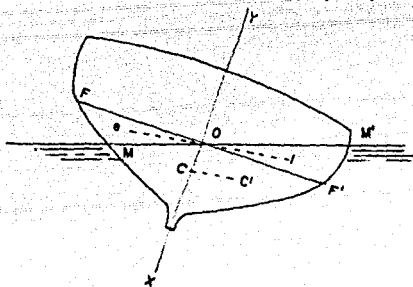
#### CENTROS DE GRAVEDAD Y PRESION:

CENTRO DE GRAVEDAD.- La gravedad se ejerce sobre cada una de las distintas partes de un buque, y el resultado de todas estas acciones parciales es una fuerza llamada RESULTANTE, -- igual a la suma de todas ellas e igual también al peso del barco. El punto de aplicación de esta resultante es el centro de gravedad del buque. Este punto es invariable, cualquiera que sea la posición del buque. Depende solamente de la disposición de los pesos de a bordo, y suponiendo que éstos no cambien de lugar cuando el buque se mueva por la acción del viento ó de la mar, el centro de gravedad permanecerá inalterable.

CENTRO DE PRESION.- El empuje del agua, actuando sobre todos los puntos de la superficie sumergida del casco, o en suma, -- la resultante de todos estos empujes puede considerarse apli-

cada en un punto llamado CENTRO DE EMPUJE, DE PRESION ó DE CARENENA, el cual coincide con el centro de figura del volumen sumergido de la carena, y como el centro de figura de un volumen coincide, a su vez, con el centro de gravedad de un cuerpo homogéneo de la misma forma, se puede decir que el centro de presión coincide con el de gravedad del volumen sumergido del casco. De donde deducimos que el centro de carena depende solamente de la forma de aquel volumen y es independiente de la disposición de los pesos del buque. Mas como quiera que éste, por la acción del viento o de la mar, se inclina, cabecea o se balancea, y, por consiguiente, adopta posiciones en las cuales la forma de la parte sumergida del casco sufre grandes variaciones, es menester que veamos lo que sucede al centro de presión en tales casos.

Sea  $F F'$  la línea de flotación de un buque (Ver Fig. ) cuando



está derecho ó ADRIZADO. Si éste se inclina a una banda, una cierta parte del casco, tal como la  $F O M$ , llamada cuña de EMERSION, sale del agua, mientras que se sumerge la  $F' O M'$ , que es la cuña de INMERSION. Por consecuencia, la parte sumer

gida del casco ha variado, pero no así su volumen, puesto que la inclinación no hizo aumentar el peso del buque. La parte sumergida  $F' OM'$  es, por lo tanto, exactamente igual en volumen a la parte  $FOM$  que salió del agua, de lo cual deduciremos lógicamente que: cuando un buque se inclina ó escora, su desplazamiento no varía.

Hemos visto que cuando el buque está adrizado, el centro de presión está en la misma vertical que el de la gravedad, y ambos en el plano longitudinal. Pero cuando una causa exterior hace inclinar el buque, el primero de dichos puntos se desplaza hacia el lado sumergido. Esto es fácil de comprender. Sea  $C$  el centro de presión con el buque adrizado; el volumen sumergido está entonces igualmente dispuesto a ambos lados de la recta  $XY$ ; pero cuando el buque escora, el volumen deja de estar simétricamente dispuesto con relación a dicha recta, la parte  $MOX$  es menor que la  $M' OX'$ , y por consiguiente, el centro de figura del nuevo volumen sumergido se trasladará del lado de  $M'$  a un punto tal como el  $c'$ , y por el pasará entonces la resultante del empuje del agua. Cuanto más escora el buque, más irá trasladándose el punto  $c'$  en la dirección  $cc'$ ; si el banco adriza, este punto se desplazara en la dirección contraria  $c'c$ , para llegar a su primitiva posición  $C$  cuando el buque quede completamente derecho. Vemos pues, que a cada inclinación -- del buque corresponde un centro de presión. El cálculo de muestra que el punto  $c$  se traslada para diversas inclina-

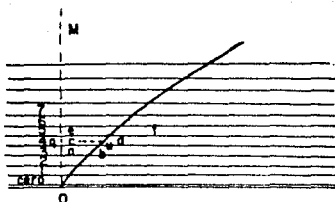
ciones del barco, según una línea  $cc'$ , que paralela a la  $ei$  que une los centros de volumen de las dos cuñas, y que la -- distancia:

$$cc' = \frac{ei \times \text{Volumen de una cuña}}{\text{Desplazamiento}}$$

CURVAS DE DESPLAZAMIENTO Y DE CENTROS DE PRESION.- DETERMINACION DEL DESPLAZAMIENTO Y DEL CENTRO DE PRESION POR MEDIO DE LAS CURVAS RESPECTIVAS Y EL CALADO:

Una vez calculados los desplazamientos correspondientes a -- las distintas líneas de agua, se acostumbra hacer su representación gráfica por medio de una curva que se obtiene de -- la manera siguiente:

Se trazan las líneas de agua sucesivas 0, 1, 2... (Ver Fig ).



Sobre cada una de ellas, a partir de una vertical cualquiera OM, se llevan longitudes proporcionadas a los desplazamientos de las carenas limitadas por estas líneas de agua; por ejemplo, si se encuentra que la línea de agua 4 limita una carena a la que corresponde un desplazamiento de 430 ton. y

se adopta la escala de un centímetro por cada ton., se lleva sobre la línea de agua 4 una longitud igual a 43 mm. Se hace lo mismo para todas las líneas de agua y se unen por un trazo continuo los puntos así obtenidos.

Si deseamos conocer el desplazamiento correspondiente a una carena limitada por una flotación cualquiera, paralela a las líneas de agua del plano, pero que no coincide con ninguna de éstas, basta conocer el calado medio que corresponde, llevarlo en la escala del dibujo desde o hasta q, por ejemplo, y trazar por este punto una horizontal que cortará a la curva en un punto tal como el u; la longitud q representa en la escala adoptada el desplazamiento que se busca.

Ejemplo: Un buque tiene de calado a proa 3,60 m. y a popa 4,40 m; hallar en la curva precedente su desplazamiento.

$$\text{El calado Medio es: } \frac{4,40 + 3,60}{2} = 4 \text{ m.}$$

Supongamos que este calado corresponde a la flotación cd. Miramos esta longitud cd; tiene 8,3 cm. pues bien, el desplazamiento será de 830 ton.; con frecuencia, en lugar de trazar las diversas líneas de agua, se trazan las flotaciones correspondientes a los calados medios.

El centro de presión se determina hallando los momentos

del volumen de obra viva, respecto al plano de la cuaderna maestra y al de la línea de agua cero, llamándose así la línea de agua que pasa por la intersección de la perpendicular de en medio con el fondo de la carena; y después se dividen los valores de aquellos momentos por el volumen de obra viva y se tendrán: la altura del centro de presión sobre la línea de agua cero y su distancia horizontal a la cuaderna maestra y como por otra parte, sabemos que debe estar en el plano -- longitudinal del buque, queda determinada su posición.

Las distintas posiciones del centro de presión se representan graficamente por medio de curvas.

#### ESTABILIDAD: TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL.

Sabemos que la posición de equilibrio estable es el resultado de la acción de dos fuerzas antagonistas iguales: de una parte la gravedad, de otra el empuje del líquido.

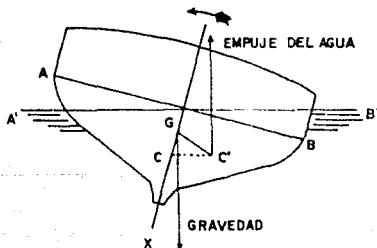
Pero existen muchas causas que tienden a separar el buque de esta posición de equilibrio, como son la acción del viento, la agitación de las olas, el desplazamiento de los pesos móviles a bordo, etc. Precisa por lo tanto, que si una cualquiera de estas causas obliga al buque a inclinarse, ya sea de -- costado, ya en el sentido longitudinal ó simultáneamente en -- ambos sentidos, la acción de aquellas fuerzas antagonistas a las cuales está sometido el buque combata esta inclinación y



tienda a hacerle volver a su posición primitiva. Esta propiedad que deben tener los buques, de enderezarse cuando una o varias fuerzas lo hacen inclinar, se conoce con el nombre de ESTABILIDAD.

Sé distinguen dos casos, según que el eje horizontal alrededor del cual se opera la rotación del buque, sea paralelo ó perpendicular al plano longitudinal. La inclinación de banda a banda, es decir, alrededor de un eje longitudinal, que es lo que constituye el BALANCE, corresponde a la ESTABILIDAD TRANSVERSAL, y la que se produce en el sentido de la longitud del buque, esto es, alrededor de un eje perpendicular al plano longitudinal, conocida con el nombre de CABEZADA pertenece a la ESTABILIDAD LONGITUDINAL.

ESTABILIDAD TRANSVERSAL:- Consideremos el primer caso y supongamos que sea la acción del viento sobre las velas la que, desviando al buque de su posición de equilibrio, lo hizo inclinar un cierto ángulo  $I$  (Ver Fig. ).



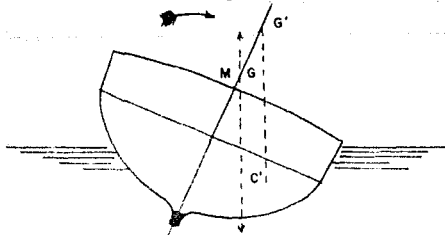
Como la carena sumergida ha variado, el centro de presión  $C$  -

abandona el plano medio y se traslada a  $C'$ . El centro de gravedad permanece en  $G$ , y el buque continúa sometido a la acción de las mismas fuerzas iguales y contrarias; la gravedad aplicada siempre en  $G$  y el empuje del agua en  $C'$ . Pero la línea que une estos puntos de aplicación ha dejado de ser vertical y, por consiguiente las citadas fuerzas no obran en prolongación una de otra, e imprimen al buque un movimiento de rotación en el sentido que indica la flecha, es decir, oblicando al buque a adrizar, cuyo movimiento se inicia en cuanto cesa la fuerza que lo hizo inclinar.

El barco, por lo tanto, se enderezará hasta que  $C'$  vuelva a quedar en la vertical de  $G$ .

Vemos pues, que la acción perturbadora del viento, al variar la posición de  $C$  con respecto a  $G$ , crea una combinación de las dos fuerzas en estos puntos aplicadas que tiende a adrizar el buque; esto es lo que se llama EL PAR DE ESTABILIDAD.

Examinemos las variaciones de este par. Supongamos el buque inclinado con su centro de presión en  $C'$  (Ver Fig. ) y alejemos de la quilla subiéndolos a la cubierta principal los pesos del barco; el centro de gravedad se elevará, y admitamos



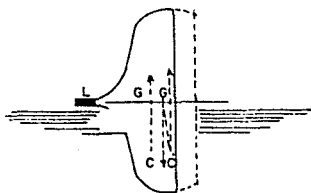
que se coloque precisamente en el punto M de encuentro de la vertical del punto C' con el plano medio, en cuyo plano ha permanecido el centro de gravedad. El buque estará sometido a la acción de dos fuerzas iguales y contrarias, obrando en prolongación una de otra, pero esta posición de equilibrio será muy diferente de la primera: el equilibrio no será estable, pues si el buque se separa de esta posición por un aumento ó una disminución de la fuerza del viento y, por consiguiente, de la inclinación, no tenderá a recuperarla.

En efecto; examinemos el caso en que, por la elevación del lastre, el punto G toma la posición G' por encima de M; en este momento el punto C' se encontrará a la izquierda de G' o, como suele decirse, a BARLOVENTO de G', queriendo significar con esta expresión que aquel punto está más próximo al lugar de donde viene el viento que el segundo punto. El buque sometido a la acción de las dos fuerzas aplicadas en C' y G', tomará un movimiento de rotación en el sentido de la flecha, inclinándose cada vez más. EL PAR DE ESTABILIDAD se hace NEGATIVO, es decir que en lugar de ser un par de adrizamiento, lo será de escora.

Por consiguiente, diremos que mientras el centro de presión permanezca en sus distintas posiciones a SOTAVENTO del centro de gravedad, o sea más alejado del viento que este último punto, el par de estabilidad es POSITIVO, el buque adrizará cuando cese de obrar la fuerza que inclinó o disminuya de

intensidad. Cuando la nueva posición del centro de empuje está en la vertical del centro de gravedad, el par de estabilidad es NULO, punto crítico, el buque está en equilibrio indiferente (posición prácticamente imposible); y, por último, si el centro de presión pasa a BARLOVENTO del de gravedad, el par de estabilidad se hace negativo y tiende a inclinar cada vez más el buque, el equilibrio es inestable.

Consideremos el mismo buque con alturas de borda diferentes; en la figura están trazadas de puntos y de lleno (Ver Fig. ) cuando adquiera una inclinación de  $90^\circ$  el buque de pequeña al



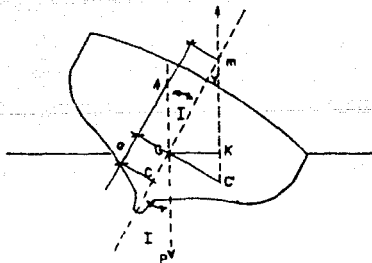
tura de borda, tendrá su centro de presión C a barlovento de G y permanecerá tumbado; en cambio, con más altura de borda, el centro de carena sumergida estará en C' a sotavento de G y el par será positivo, tendiendo a levantar el buque. Por otra parte, si se retira todo el lastre del interior para reemplazarlo por una quilla de plomo L, el centro de gravedad del barco tomará la posición G' y aun sin tener gran altura de borda el buque adrizará. Vemos pues, que el lastre colocado muy abajo, por una parte y por otra un gran volumen por encima del agua, contribuyen a que G se separe de C en las posi-

ciones inclinadas, y, por consiguiente, a aumentar la estabilidad.

Para que los costados del buque, así como las cubiertas, contribuyan a aumentar el límite de estabilidad del barco inclinado, es preciso tener muy presente que unos y otras han de ser ESTANCOS. Es evidente que sí, por ejemplo, las portas o portillos del costado están abiertos, el agua penetra en el buque a partir del momento en que ella alcanza su nivel y, por consiguiente, se debe considerar el costado como limitado en altura por la línea de los batiportas bajos. De la misma manera, si las escotillas de la cubierta superior no están cerradas, el buque está en peligro desde que alcanza una inclinación tal que el agua pasa por encima de las brazolas.

#### VALOR DEL PAR DE ESTABILIDAD

Ya sabemos que en mecánica el efecto de un par se aprecia por su momento, que es el producto de una de las fuerzas por la distancia que las separa. El momento del par de estabilidad es el peso del buque, o sea su desplazamiento por la longitud de la distancia que separa las dos verticales trazadas por C' y G (Ver Fig.) en la posición inclinada.



Representando por  $P$  el peso del barco, el momento del par tenderá por valor:

$$P \times GK$$

El desplazamiento se expresa en ton. y la distancia  $GK$  llamada BRAZO DE PALANCA, en metros, resultando el momento en TONELAMETROS. Así, cuando digamos que un buque, para una inclinación determinada, tiene un momento de estabilidad de 300 toneladas-metros, queremos significar que la fuerza que tiende a adriarlo equivale a la acción de un peso de 300 ton. actuando en el extremo de una palanca de un metro.

Si designamos por  $h$  la distancia del punto  $m$  al centro de presión  $C$ , y por  $a$  la que existe entre  $G$  y  $C$ , tendremos que  $mg = h - a$ . La inclinación del buque está representada por el ángulo  $I$ , evidentemente igual al que forman las dos flotaciones. Además  $GK = Gm \text{ sen } I = (h - a) \text{ sen } I$ , valor que sustituido en la expresión del momento, nos dará:

$$P \times GK = P \times (h - a) \text{ sen } I$$

El punto  $m$  en que la vertical del centro de presión  $C'$  corta el plano diametral se llama METACENTRO, y la distancia  $mC$  ALTURA METACENTRICA.

Si observamos ahora que la condición impuesta al centro de presión de encontrarse siempre a sotavento del de gravedad para que el equilibrio sea estable, equivale a decir que el centro de gravedad deberá estar más bajo que el punto  $m$ , podemos ase

gurar que si el centro de gravedad está por debajo del metacentro, el equilibrio es estable; que si estos puntos coinciden, es indiferente; y, finalmente, que si aquél está más alto que éste, es inestable.;

Si en la igualdad  $GK = Gm \text{ sen } I$  despejamos  $Gm$ , tendremos:

$$Gm = \frac{GK}{\text{sen } I}$$

es decir, que  $Gm$  depende del ángulo  $I$  de inclinación, y como  $G$  no varía la posición del metacentro, cambia con la inclinación. Se admite, sin embargo, que el punto  $m$  es fijo para pequeñas inclinaciones que no pasen de  $15^\circ$ . Dentro de este límite la estabilidad se denomina INICIAL y la altura metacéntrica  $mC$  toma entonces el nombre de RADIO METACENTRICO y se designa por la letra  $r$ . El momento del par de estabilidad inicial será, por consiguiente,  $M = P (r-a) \text{ sen } I$

#### ESTABILIDAD DE FORMAS Y DE PESOS

Con frecuencia se habla de la estabilidad de pesos como de dos cosas que puedan ser separadas prácticamente y como si la estabilidad no fuera la resultante de dos elementos inseparables en realidad: la gravedad en  $G$  y el empuje del agua en  $C$ . No hay más que una estabilidad para los cuerpos flotantes; la fórmula  $P (h-a) \text{ sen } I$  es general y se aplica indistintamente a toda clase de buques. Un barco sin peso, no teniendo más que forma y un barco sin forma, sin volumen, no poseyendo más que peso, son puras abstracciones del espíritu,

artificios de demostración inventados para descomponer los fenómenos muy complejos de la estabilidad en varios elementos y estudiar así más fácilmente la variación de cada uno de ellos, como vamos a ver.

En la generalidad de los buques, el centro de gravedad está más alto que el de presión, si bien hay algunos, como los yates de lastre concentrado en forma de quilla de plomo, en los que la posición de ambos puntos está invertida.

Consideremos los dos casos.

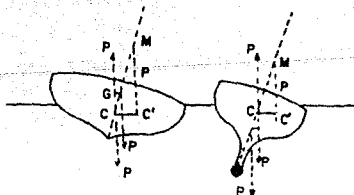
En el caso general tendremos:

$$P(r-a) \operatorname{sen} I = Pr \operatorname{sen} I - Pa \operatorname{sen} I$$

En el caso particular citado:

$$P(r+a) \operatorname{sen} I = Pr \operatorname{sen} I + Pa \operatorname{sen} I$$

La cantidad  $Pr \operatorname{sen} I$  representa el momento de un par cuyas fuerzas iguales a  $P$  y paralelas a  $C'M$  (Ver Fig) estén aplicadas una en  $C$  y la otra en  $C'$ . El valor de este momento es,





por lo tanto, absolutamente independiente de la posición del centro de gravedad del buque; tan sólo depende de su desplazamiento y de la posición de los dos centros de presión sucesivos, y por consiguiente, de la forma de la carena: por esta razón se llama PAR DE ESTABILIDAD de formas; es un par adrizante.

La segunda cantidad  $P_a \text{ sen } I$  es el momento de un par formado por dos fuerzas paralelas a la dirección C'M y aplicados una en C y la otra en G. El momento de este par depende pues, de la posición del centro de gravedad del buque, y por consiguiente, de la disposición de los pesos de a bordo: de ahí el nombre de ESTABILIDAD DE PESOS con que se le conoce. En realidad, en el caso ordinario que el centro de gravedad está por encima del de presión, este último par es escorante y su valor debe restarse del correspondiente al par de estabilidad de formas. En el caso de que los centros de gravedad y de presión coincidan, lo cual equivale a decir que  $a=0$ , desaparece el par de estabilidad de pesos y se conserva solamente el de formas, pudiendo decir que es de esta última clase de estabilidad que tiene un buque en tales condiciones.

#### ESTABILIDAD LONGITUDINAL.

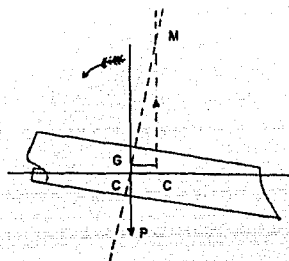
Si en lugar de inclinar el buque alrededor de un eje longitudinal lo hacemos girar de uno transversal todos los razonamientos hechos anteriormente pueden repetirse aquí, obtenien-

do para valor del par de estabilidad longitudinal el produc-  
to:

$$P (H-a) \text{ sen } I$$

siendo H la altura metacéntrica longitudinal (Ver Fig. ),  
que toma el nombre de RADIO METACENTRICO LONGITUDINAL para -  
inclinaciones menores de  $15^\circ$  convirtiéndose entonces la ex-  
presión del momento en:

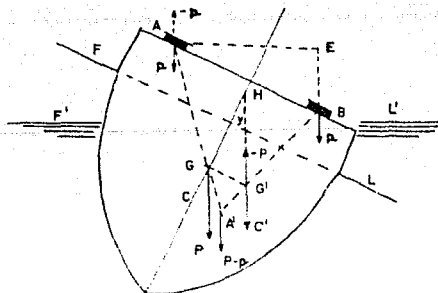
$$P (R-a) \text{ sen } I$$



### TRASLACION DE PESOS

#### TRASLACION HORIZONTAL TRANSVERSAL

Sea FL la flotación de un buque adrizado. Consideremos un pe  
so p aplicado en A (Ver Fig. ).



El desplazamiento GP se puede descomponer en dos pesos: uno  $p$ , aplicado en A, y otro  $P-p$  aplicado en un punto A' tal que se verifique:

$$(P-p) GA' = p.GA$$

Si se traslada uno cualquiera de sus pesos  $p$  de A a B, el -- centro de gravedad del barco se moverá paralelamente a la -- recta que une estos dos últimos puntos y quedará en una posi-- ción como G'. El buque al inclinarse un ángulo I, tomará -- otra flotación F'L' isocarena con la primitiva, puesto que -- el desplazamiento no ha variado y, por consiguiente, el cen-- tro de presión se trasladará también a un punto C'. Sin alte-- rar el equilibrio correspondiente a la flotación F'L', se -- puede aplicar en A dos fuerzas  $p$  y  $-p$ . Las fuerzas Ap y P-p tienen por resultante la P aplicada en G. El buque se encuen-- tra por lo tanto sometido:

1° Al par  $(p BA, -p)$

2° A su peso P

3° Al empuje - P

Estas dos últimas fuerzas forman el par de estabilidad. Para que haya equilibrio, se deberá tener:

$$\text{momento del par } (P, -P) = \text{momento del par } (p, -p)$$

Suponiendo pequeña la inclinación I (estabilidad inicial) se tendrá:

$$P (r-a) \text{ sen } I = p \times AE = p \times AB \cos I$$

o bien,

$$\frac{\text{sen } I}{\cos I} = \frac{p \times AB}{P (r-a)}, \quad \text{tg } I = \frac{P \times AB}{P (r-a)}$$

MOMENTO NECESARIO PARA PRODUCIR UNA INCLINACION TRANSVERSAL DE UN GRADO.

De la fórmula anterior se deduce:

$$p \times AB = P (r-a) \operatorname{tg} I = P (r-a) \operatorname{tg} 1^\circ = \frac{P (r-a)}{57,3}$$

Así, el momento para inclinar  $1^\circ$  un vapor de 3.000 ton., teniendo en cuenta que  $r-a = 0,80$  m., será:

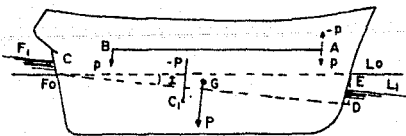
$$p \times AB = \frac{3.000 \times 0,80}{57,3} = 41,884 \text{ Tonm.}$$

Si  $AB = 10$  m., el peso que debe trasladarse será de:

$$p = \frac{41,884}{10} = 4,188 \text{ ton.}$$

#### TRASLACION HORIZONTAL LONGITUDINAL

Traslademos un peso  $p$  horizontalmente en el sentido longitudinal de A a B. Al inclinarse el buque girando alrededor de un eje transversal un ángulo  $I$  (Ver Fig . .) veremos, como en el caso anterior que al establecerse el equilibrio se tiene:



momento del par  $(P, -P)$  = momento del par  $(p, -p)$

Si  $I$  es pequeña tendremos:

$$P (R-a) \operatorname{sen} I = p \times AB \cos I$$

de donde:

$$\operatorname{tg} I = \frac{p \times AB}{P (R-a)}$$

MOMENTO NECESARIO PARA HACER VARIAR UN CENTIMETRO LA DIFERENCIA DE CALADOS.

De la fórmula anterior se deduce:

$$p \times AB = P (R-a) \operatorname{tg} I$$

Ahora bien, al transportar el peso de A a B (Ver Fig anterior) aumenta el calado a popa en la cantidad  $F_0C$  y disminuye el calado a proa en la cantidad  $EL_0$ . La diferencia de calados habrá variado en la cantidad  $DL_0$ . Si representamos por  $L$  la distancia en metros que separa los calados y por  $d$  la diferencia  $DL_0$ , expresada en centímetros, tendremos en el triángulo  $F_0L_0D$ :

$$\operatorname{tg} I = \frac{d}{100 L}$$

y substituyendo este valor en el del momento:

$$p \times AB = P (R-a) \times \frac{d}{100 L}$$

así suponiendo

$P=3.000$  ton.,  $d=1$  cm.,  $R-a=70$  cm.,  $L=70$  m. se tiene:

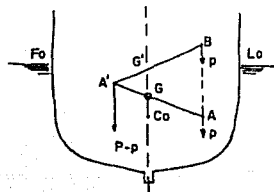
$$p \times AB = 30 \text{ tonelámetros.}$$

Si  $AB=15$  m., el peso que debe trasladarse para hacer variar

La diferencia de calados 1 cm. será de dos toneladas.

### TRASLACION VERTICAL

La traslación vertical de un peso contenido en un buque no produce, evidentemente alteración alguna en su flotación; pero no ocurre lo mismo con la estabilidad inicial. Sea  $p$  un peso aplicado en  $A$  (Ver Fig.).



El peso total del buque, aplicado en  $G$ , puede descomponerse en dos: el peso  $p$  y el  $P-p$  aplicado en un punto  $A'$  tal que se verifique:

$$(P-p) GA' = p \cdot GA, \quad \text{ó} \quad \frac{GA'}{GA} = \frac{p}{P-p}$$

transportemos verticalmente el peso  $p$  de  $AB$ . el nuevo centro de gravedad se encontrará sobre la recta  $A'B$  en un punto  $G'$  tal que se tenga:

$$\frac{A'G'}{G'B} = \frac{P}{P-p}$$

tomando las dos relaciones anteriores se deduce que:

$$\frac{GA'}{GA} = \frac{A'G'}{G'B} \quad \text{ó} \quad \frac{A'G'}{A'B} = \frac{GA'}{AA'} = \frac{p}{P}$$

y, por consiguiente, los triángulos  $A'GG'$  y  $A'AB$  son semejan-

tes por tener un ángulo igual comprendido entre lados proporcionales. De esta semejanza se desprende que:

$$\frac{A'G'}{A'B} = \frac{GG'}{AB} = \frac{p}{P}$$

de donde:

$$GG' \times P = p \times AB$$

El momento de estabilidad inicial tiene por valor:

$$M = P (r - C_0 G') \text{ sen } I$$

pero

$$C_0 G' = a + p \cdot \frac{AB}{P} = a + p \cdot \frac{h}{P}$$

llamando  $h$  a  $AB$ , luego:

$$M = P (r - a - \frac{ph}{P}) \text{ sen } I = P (r - a) - ph \text{ sen } I$$

Se ve pues, que aquel momento ha disminuido en  $ph \text{ sen } I$ . De la misma manera hubiéramos encontrado para el valor del momento de estabilidad longitudinal:

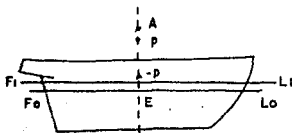
$$M' = P (R - a) - ph \text{ sen } I$$

Si en lugar de subir el peso lo hubiéramos hecho descender verticalmente, se hubiera verificado lo contrario, es decir, que los momento de estabilidad aumentarían.

#### ADICION DE PESOS

La adición de un peso en la vertical del centro de gravedad -

de la flotación produce una inmersión. En efecto, el centro de gravedad de la flotación se encuentra en el plano longitudinal y por lo tanto, el buque no puede por razón de simetría, inclinarse transversalmente. Además, la diferencia de calados no varía, porque si en un punto A (Ver Figura) de la verti-



cal del centro de gravedad E de flotación primitiva aplicamos un peso p, el buque se encuentra sometido a este peso p y el empuje -p aplicado en el centro de volumen de la porción  $F_0F_1L_0L_1$ , suponiendo a p no muy grande aquella porción será de poco espesor y su centro puede considerarse situado en la vertical de E.

Las fuerzas p y -p se equilibran y el buque no se inclina, es decir, que la flotación  $F_1L_1$  es paralela a  $F_0L_0$ .

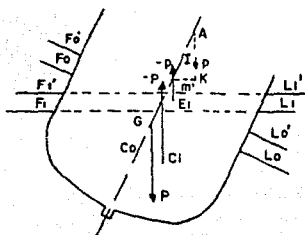
Cuando la introducción de un peso tiene lugar en el plano longitudinal del buque, se determina su efecto, suponiéndolo primero en la vertical del centro de gravedad de la flotación y después llevándolo horizontalmente al sitio que realmente ocupa. Se encuentra la principal aplicación de este problema, -



cuando se quiere la inmersión de los propulsores, etc.

MODIFICACION DE LA ESTABILIDAD INICIAL TRANSVERSAL PRODUCIDA POR LA ADICION DE UN PESO EN LA VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA FLOTACION.

Se F<sub>0</sub>L<sub>0</sub> la flotación de un buque adrizado (Ver Fig.). Si



en un punto A de la vertical del centro de gravedad de la flotación, aumentamos un peso  $p$ , según acabamos de decir, el buque sufre una inmersión sin inclinarse. Sea  $F'_0L'_0$  la nueva flotación. Ya sabemos que si el peso  $p$  es pequeño comparado con  $P$ , la porción  $F_0F'_0$  tiene un espesor muy reducido. Inclínemos el buque un ángulo  $I$  pequeño y sea  $F'_1L'_1$  la flotación correspondiente. El buque se encuentra sometido:

- 1° Al par  $(P, -P)$
- 2° A la fuerza  $p$  aplicada en A
- 3° Al empuje  $-p$  aplicado en el centro de volumen  $E_1$  de la porción sumergida  $F_1L_1F'_1L'_1$ .

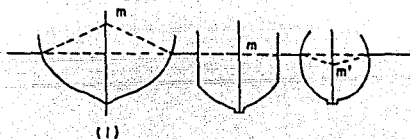
Designemos por  $m'$  el punto en que la vertical de  $E_1$  encuen-

tra a la recta  $C_0G$ .

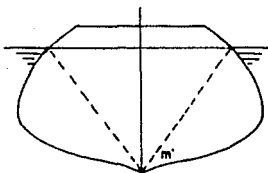
El momento del primer par es  $P (r-a) \text{ sen } I$

El de la segunda es  $p \times m'K = p \times m' A \text{ sen } I$

Se ve inmediatamente que el par de estabilidad aumenta si el punto  $m'$  está por encima de  $A$ , y disminuye si  $m'$  se encuentra por debajo de aquél. Este punto  $m'$  cuando la porción  $F_0F'$  tiene un espesor despreciable, se llama metacentro diferencial. Se demuestra que su posición aproximada cuando el buque está adrizado, es el punto de encuentro de las normales a los costados trazadas a la altura de la flotación; por consiguiente (Ver Fig.) según cual sea la forma de los costados del buque, así el metacentro diferencial puede estar por



encima de la flotación, en ésta ó por debajo de ella. De aquí deducimos que hay barcos de formas tales como el de la (Ver figura) en los que la adición de un peso por encima de la flotación, siempre que esté por debajo de  $m'$ , aumentará la estabilidad, e inversamente los buques de costados exageradamente entrantes, como el de la (Ver Fig) pueden perder estabilidad a pesar de aumentar un peso en sus bodegas.



REGLA PARA ARQUEAR UN BOTE Y HALLAR EL NUMERO DE PERSONAS QUE PUEDEN EMBARCAN EN EL.

Para arquear un bote, se multiplican eslora, manga y puntal, tomadas de fuera a fuera las dos primeras dimensiones y la última por dentro; el producto obtenido se multiplica por 0,6, obteniendo así la capacidad en metros cúbicos, si las dimensiones estaban expresadas en metros.

En condiciones de seguridad se asignan a cada persona 0,283m. por consiguiente, para conocer el número de personas que pueden embarcar en un bote, bastará dividir su capacidad en metros cúbicos por 0,283. Así un bote de 5.55 m. de eslora, 1.76 de manga y 0.80 m. de puntal, tendrá un volumen de:

$$0,6 \times 5.55 \times 1.76 \times 0.80 = 4.688 \text{ m}^3$$

y podrá conducir, como máximo,

$$4.688 / 0,283 = 16 \text{ personas}$$

#### IV. DISEÑO DE MEZCLAS DE MORTERO:

##### MÉTODOS DE DISEÑO:

Existen numerosos métodos desarrollados con el fin de establecer las proporciones en que deben mezclarse los diferentes ingredientes del MORTERO, de manera de lograr un producto con determinadas características o propiedades.

Entre las principales ventajas del ferrocemento, se pueden señalar las siguientes:

- a) Un porcentaje elevado del costo total del producto - lo constituyen la mano de obra empleada en su fabricación, situación favorable para las características socio-económicas de nuestro país.
- b) No son necesarias instalaciones o equipos que representen inversiones considerables, ni mano de obra especializada.
- c) Las propiedades físicas de resistencia, permeabilidad, etc. así como la forma sencilla de construcción, bajo costo inicial y fácil reparación en caso de daños, hacen del ferrocemento un material especialmente recomendable para ciertas aplicaciones.

No obstante que se han obtenido experiencias positivas al emplear el ferrocemento en diversas soluciones, es necesario conocer mejor sus propiedades y funcionamiento para poder dise-

ñar racionalmente las estructuras construidas con este material.

Las investigaciones realizadas a la fecha, han empleado diferentes tipos de refuerzo, y algunos de los métodos utilizados por lo que los ensayos han variado de una investigación a otra. Asimismo, los resultados obtenidos difieren, llegando en algunos casos a ser contradictorios.

#### CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA:

Tomando en cuenta que en la práctica el mezclado del mortero debería efectuarse manualmente, fue necesario preparar mezclas cuya consistencia permitiera la homogeneización. Esta circunstancia, obligó a elaborar mezclas de consistencia plástica, lo que eliminó la posibilidad de usar mezclas muy secas, como hubiera sido deseable para la aplicación propuesta.

La consistencia mas seca que se encontró como posible de homogeneizar a mano, presentó las siguientes características:

Fluidez (15 golpes en 10 segundos)= 80 - 85%.

Revenimiento (tres capas de 25 golpes c/u)= 2 - 3 cm.

En todas las mezclas de prueba, la consistencia se conservó dentro de dichos límites de fluidez y revenimiento.

Para definir el Mortero mas adecuado, se ensayaron las siguientes variables:

- a) Influencia del cribado de arena de Santa Fe por las mallas números 4 (4.8 mm.) y 8 (2.4 mm.).
- b) Uso alternativo de las arenas de Santa Fe, Ajusco y una combinación de ambas por partes iguales.
- c) Variación de la relación arena/cemento.
- d) Efecto de curado con membrana.

#### PROPIEDADES REQUERIDAS:

Si se considera que diseñar una mezcla de concreto consiste en establecer las proporciones en que deben combinarse, sus ingredientes para que el producto posea determinadas proporciones y propiedades, el punto de partida debe consistir en definir con la mayor claridad posible cuales son los requisitos por lograr en el producto.

Es necesario distinguir en este aspecto, las cualidades que son deseables en el MORTERO recién mezclado y las que demanda el MORTERO ya endurecido al ser puesto en servicio. Aunque el MORTERO es el resultado de la combinación de varios componen-

tes (cemento, agua, arena y eventualmente algún aditivo), el estudio de su comportamiento y propiedades, tanto en estado fresco como ya endurecido, se facilita al considerarlo integrado por dos componentes básicos:

#### Pasta de cemento-agregados minerales.

La pasta se compone de cemento, agua y aire. Este último puede ser el que se atrapa normalmente durante el mezclado, ó bien el que se promueve en forma intencional mediante el uso de un aditivo inclusor de aire. El comportamiento reológico de una pasta de cemento con aire incluido puede diferir radicalmente del de otra igual que no lo contenga. (El aire sirve como aislante térmico y acústico y para aligerar el MORTERO).

Los agregados minerales consisten casi siempre de partículas de roca, fragmentadas por la naturaleza o por el hombre, con dimensiones que abarcan desde algunas micras hasta varios centímetros. Se acostumbra distinguir como agregado fino o arena, a las partículas menores de 5 mm. y como agregado grueso o grava, a las partículas mayores. Ocasionalmente se incorporan polvos minerales al concreto, los cuales por sus reducidas dimensiones, pasan a formar parte de la pasta y pueden modificar su comportamiento.

Aunque la pasta suele ser considerada como el componente - -

**A PARTIR DE**

**ESTA PAGINA**

**FALLA  
DE**



**ORIGEN**



"Activo" del MORTERO, frecuentemente es deseable limitar su -- participación al mínimo, compatible con la obtención de las -- propiedades requeridas, por consideraciones económicas o de -- otra índole.

En la tabla Uno se indican algunas influencias favorables unas y desfavorables otras, que la pasta y los agregados pueden --- ejercer sobre diferentes características y propiedades del con- creto, cuya optimización pueden buscarse en cada caso particu- lar mediante el diseño adecuado de la mezcla.

ASPECTOS INFLUIBLES MEDIANTE SELECCION ADECUADA							
INGREDIENTES DEL CONCRETO					PROPORCIONES		
CEMENTO Características varias	AGREGADOS			ADITIVOS Características varias	AGUA / CEMENTO Cantidad de la pasta	GRAVA / ARENA Proporción de mortero	CONSISTENCIA Proporción de pasta
	Granulometría	Tamaño máximo	Forma y textura				
1	2	3	4	5	6	7	8

ASPECTO INFLUIDO	CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DESEABLES						
	CONCRETO FRESCO			CONCRETO ENDURECIDO			
	ECONOMIA	COHESION	MOLDEABILIDAD	RESISTENCIA	DURABILIDAD	ESTABILIDAD	IMPERMEABILIDAD
1	x			x	x	x	
2	x	x	x	x			
3	x	x	x	x		x	x
4	x	x	x	x			
5	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x			x	
8	x	x	x	x	x	x	x

## REQUISITOS DEL CONCRETO FRESCO.

Al salir de la mezcladora, el concreto es una masa fácilmente deformable, integrada por cuerpos en estado sólido, líquido y gaseoso, que debe ser sometido a movimientos y manipulaciones tendientes a colocarla en moldes previstos, a fin de que se adquiera su forma y la conserve después de endurecer.

Si se admite que en ese momento el concreto es una mezcla homogénea de ingredientes bien proporcionados y dosificados, el primer objetivo es hacerlo llegar a los moldes en esas mismas condiciones de homogeneidad. Una vez colocado en los moldes, el segundo objetivo es moldear el concreto hasta convertirlo en un cuerpo compacto, ya que muchas propiedades deseables del concreto endurecido se relacionan con su compacidad.

Para facilitar el logro de estos objetivos, la mezcla de concreto debe aportar dos condiciones necesarias:

- 1.- Debe ser lo suficientemente cohesiva para conservar su homogeneidad en el curso de su traslado de la mezcladora a los moldes, con el empleo de los medios aprobados.
- 2.- Debe poseer deformabilidad adecuada a la energía con que se le compacte, conforme a las características de los equipos de uso especificados.

Por lo tanto, podemos resumir que los principales requisitos -

son:

- a) resistencia a compresión a 28 días, mayor de 300 -- kg/cm<sup>2</sup>.
- b) manejabilidad adecuada para las condiciones de trabajo.
- c) alta impermeabilidad
- d) baja contracción

#### COMPORTAMIENTO DE LA PASTA:

En el caso de las mezclas de MORTERO de uso común, suele buscarse que la pasta posea una consistencia más bien plástica, a la cual corresponda una cohesión adecuada para inhibir la segregación durante los movimientos previos a su colocación en los moldes. Posteriormente, para darle suficiente capacidad al MORTERO ya colocado, dicha cohesión se anula por las fuerzas que le transmite el equipo de vibrado con lo cual, -- mientras permanece actuando la vibración, la mezcla se fluidifica, permitiendo la expulsión del aire atrapado y llenando el espacio confinado entre las mallas. Al cesar la vibración, la mezcla ya compactada recupera su rigidez inicial, quedando -- así dispuesta para iniciar el proceso de fraguado y endurecimiento.

Por otra parte, la pasta de cemento es la principal responsable de los cambios de volumen que ocurren en el Mortero tanto en su estado fresco como endurecido. De estos cambios, el más importante es la contracción por secado, que se denomina así por su aparente coincidencia con la pérdida de agua en el concreto. Cuando se manifiesta en el Mortero aún fresco, se le llama contracción plástica y, salvo en casos extremos, el Mortero capaz de absorberla sin fisurarse. No ocurre así en el Mortero endurecido que, si no dispone la facilidad para contraerse sin restricciones, se agrieta irremediablemente.

La sola pasta de cemento puede contraerse entre 5 y 15 veces más que el concreto cuya contracción reducida se debe a las restricciones que en él ejercen los agregados. De tal manera, bajo este aspecto es deseable que la parte de cemento, como componente del Mortero intervenga en la menor proporción que sea posible.

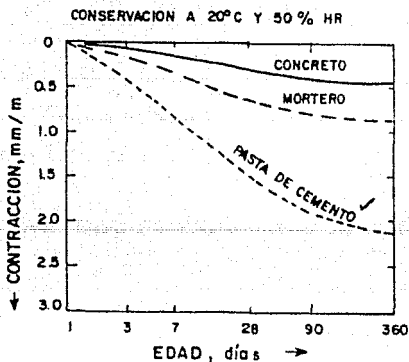
Aún cuando existen opiniones controvertidas respecto a las causas de la contracción por secado en la pasta, se coincide en que determinados factores la incrementan, entre los cuales se mencionan el contenido de agua y la finura, composición y consumo unitario de cemento en el Mortero.

La contracción de una pasta con relación agua/cemento=0.56 puede ser 50% mayor que la de otra con agua/cemento=0.40. Los cementos con mayor finura y más aluminato tricálcico parecen con

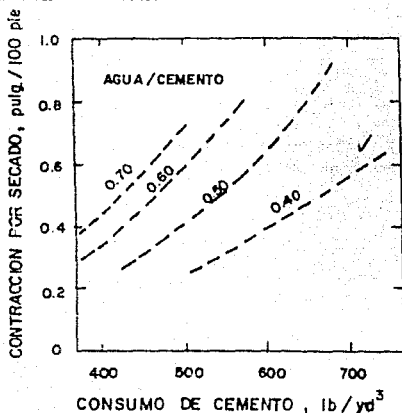
ducir a una contracción más fuerte en la pasta. En cuanto al consumo unitario de cemento en el Mortero, si éste aumenta -- también aumenta la proporción unitaria de pasta en el mismo concreto y, no obstante que la relación agua/cemento disminuya y la resistencia se incremente, la contracción del Mortero también aumenta. Como consecuencia, para reducir la probabilidad de contracción, es conveniente especificar mezclas de Mortero, cuyo contenido de cemento sea tan bajo como resulte compatible con el cumplimiento de las especificaciones de resistencia de la obra.

Para ilustrar lo anterior, en la (Ver Fig) se muestra la comparación de las contracciones por secado de la pasta de cemento, el Mortero y el concreto, para unas condiciones determinadas.

CONTRACCION POR SECADO COMPARADA DE CONCRETO, MORTERO Y PASTA DE CEMENTO.



Influencia del consumo de cemento y de la relación agua/cemento en la contracción.



Granulometría de la arena.

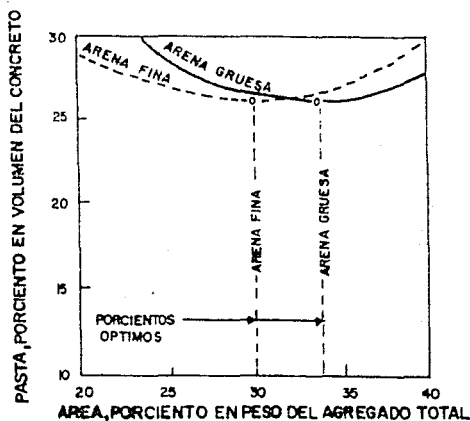
La composición granulométrica de la arena suele identificarse por su módulo de finura, considerándose que un módulo de finura menor de 2.30 es representativo de una arena demasiado fina y uno mayor de 3.20 como correspondiente a una demasiado gruesa.

Aún cuando el módulo de finura no da una medida precisa de la verdadera distribución de tamaños en la arena, en la práctica resulta útil y algunos métodos de diseño de mezclas, como los del ACI mencionados al principio, la utilizan como dato impor-

tante.

El requerimiento de pasta en el concreto puede estar relacionado con la granulometría de la arena, pero tal como se observa en la Figura, el efecto en este sentido puede minimizarse si se determina experimentalmente el contenido óptimo de la arena disponible, ya sea que ésta sea fina o gruesa, pero den-

INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA EN SU  
PROPORCION OPTIMA, QUE REQUIERE MENOS PASTA.



tro del intervalo granulométrico aceptable.

En los casos en que se requiere trabajar con arenas demasiado gruesas, puede resultar de utilidad el empleo de un agente inclusor de aire, porque las "partículas neumáticas" incluidas pueden actuar como compensatorias de las finas que faltan en la arena. En estas circunstancias resulta conveniente hacer

el ajuste necesario en el contenido original de arena, considerando que aproximadamente el 50% del aire incluido pasa a formar parte de ésta. Asimismo, es necesario ajustar la relación agua/cemento, para tomar en cuenta la disminución de resistencia que el aire incluido suele producir.

#### REQUISITOS DEL MORTERO ENDURECIDO.

La primera cualidad que se apreció en el Mortero desde sus principios fue su aptitud para resistir esfuerzos de compresión, de lo cual derivó tal vez la costumbre de comprobar únicamente esta propiedad como medida de su calidad. Al difundirse y diversificarse la aplicación del Mortero se le reconocieron también limitaciones, tales como su capacidad para resistir esfuerzos de tensión y su tendencia a contraerse con el tiempo. La primera se pudo superar con el uso del acero de refuerzo y la segunda dió origen a los llamados cementos expansivos.

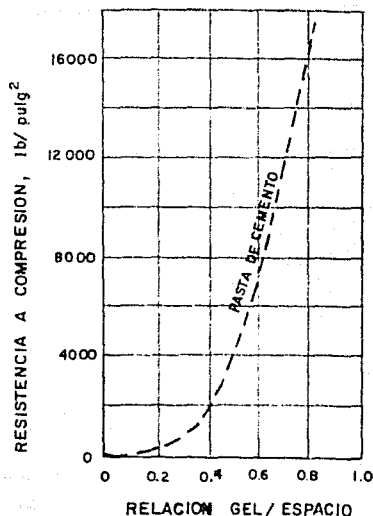
Posiblemente respaldada por relaciones de dependencia entre la resistencia a compresión y otras propiedades deseables, la costumbre de comprobar principalmente la calidad del Mortero mediante pruebas a compresión prosperó y se extendió hasta el presente. No obstante, sin detrimento aparente de esta práctica, se desarrolló la necesidad de fomentar otras características convenientes, para cuya satisfacción deberían adoptarse las precauciones necesarias durante el diseño de las mezclas



de concreto.

### RESISTENCIA A COMPRESION.

En la actualidad se reconoce que la resistencia de la pasta (y del concreto) es un atributo del gel que resulta de la hidratación del cemento. La resistencia propia del gel es una característica intrínseca varía poco por efecto de los cambios de composición en el cemento, de modo que la resistencia de la pasta en un momento dado más bien depende de la concentración del gel por unidad de volumen de pasta que exista en ese momento. Al considerar la resistencia en función de los productos de hidratación existentes en el volumen total de la pasta, se inhibe la influencia que ejercen los cambios de composición del cemento, de las condiciones de temperatura y humedad y otros aspectos que suelen limitar la aplicación de la relación agua/cemento de manera general. En la Figura se muestra la forma como varía la resistencia del Mortero a compresión en función de la llamada relación gel/espacio de la pasta.



Influencia de la relación gel/espacio de la pasta y el cemento en la resistencia del Mortero.

Este comportamiento confirma que la resistencia de la pasta, al Mortero y el concreto, como en el caso de otros materiales está gobernada por el concepto de porosidad, ésto es, la proporción de volumen sólido presenta en un cierto espacio total disponible. De acuerdo con el, la resistencia tiende a incrementarse con el consumo unitario de cemento y a reducirse con el contenido de agua y aire.

No obstante lo anterior, la estimación de la resistencia en función de la relación agua/cemento sigue siendo factible si no se producen cambios significativos en las características

del cemento y se reglamenten las condiciones de curado y la edad de prueba. Para su aplicación en el diseño de mezclas de concreto, el concepto agua/cemento suele complementarse con la llamada "regla de Lyse" según la cual, para unos materiales determinados, el consumo de agua requerido para obtener una cierta consistencia permanece aproximadamente constante y es independiente de la relación agua/cemento que se utilice.

#### Impermeabilidad.

Con frecuencia se supone que teniendo el Mortero en sí mismo un coeficiente de permeabilidad bastante bajo (del orden de  $10^{-8}$  cm/s), puede considerarse impermeable para fines prácticos. Sin embargo, la proporción de estructuras de concreto que requieren de la aplicación de recubrimientos superficiales para hacerlas verdaderamente impermeables es considerable.

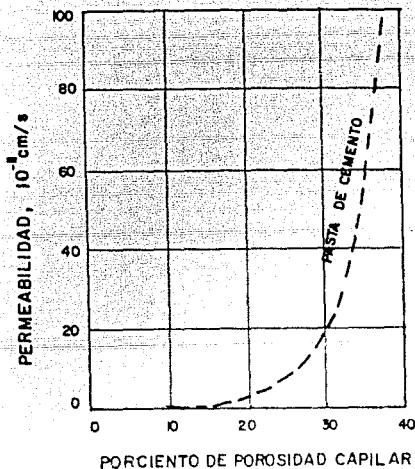
Aunque la mayoría de las veces estas manifestaciones de permeabilidad son relacionables con fisuras o defectos de construcción, es conveniente tener presentes ciertas precauciones cuando se diseña una mezcla de concreto, si se pretende aplicarla en una estructura que vaya a estar en contacto con el agua.

La impermeabilidad del concreto es importante no solamente

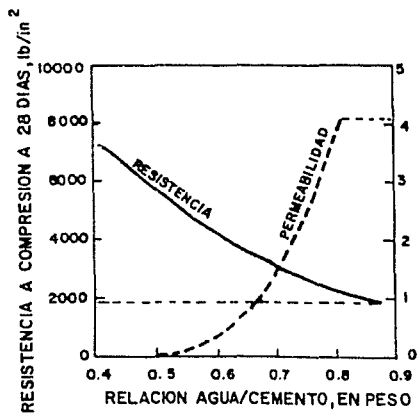
para impedir el paso del agua sino también para proteger adecuadamente el acero de refuerzo contra la corrosión, principalmente cuando existe un medio ambiente ó de contacto con carácter corrosivo, como ocurre en las estructuras para obras marítimas.

Tal como se indica en la figura la permeabilidad de la pasta de cemento está relacionada con su porosidad y, como ésta depende de la relación agua/cemento, resulta entonces que esta relación gobierna también la impermeabilidad del concreto. En la figura se indica el tipo de dependencia que suelen presentar la resistencia y la permeabilidad del concreto con respecto a su relación agua/cemento.

Influencia de la porosidad capilar en la permeabilidad de la pasta de cemento.



Influencia de la relación agua/cemento sobre la resistencia y permeabilidad del concreto.



#### Resistencia a tensión.

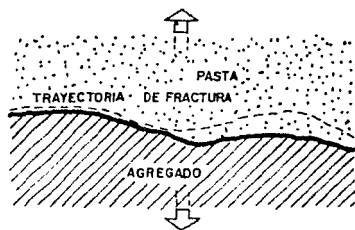
Debido a que el concreto tiene una capacidad bastante mayor para resistir los esfuerzos de compresión que los de tensión, y dado que en cualquier condición de carga suelen estar presentes ambos, la falla del concreto casi siempre está asociada, en última instancia, con una falla por tensión. Esta situación es particularmente válida para estructuras en las que las condiciones de carga son a flexión, como en el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, en donde el diseño de las mezclas se realiza con la finalidad de obtener una cierta resistencia en tensión por flexión.

En el desarrollo de la resistencia a tensión, las caracte-

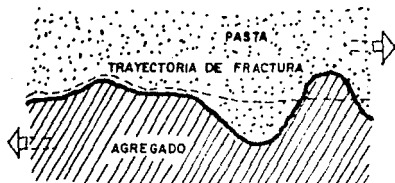
rísticas de forma y textura de los agregados juegan un papel importante, dado que las variaciones en éstas pueden originar diferencias notables en las condiciones de frontera entre los agregados y la pasta y, consecuentemente, en su interacción cuando el concreto es sometido a esfuerzos de tensión.

Si el concreto se hace trabajar a flexión hasta la falla, se producen fracturas en la vecindad del concreto pasta-agregado, que pueden ser del tipo de falla por tensión o por cortante, según se indica esquemáticamente en la Figura, en donde se destacan cuatro tipos principales de fractura:

- a) Por adherencia entre pasta y agregado.
- b) Por tensión en la pasta.
- c) Por cortante en la pasta.
- d) Por cortante en el agregado.



A) FALLA PRODUCIDA POR TENSION

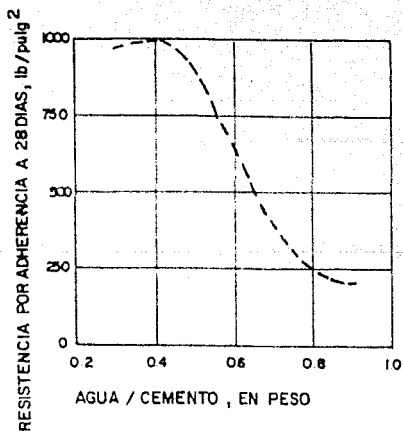


B) FALLA PRODUCIDA POR CORTANTE

Tipos comunes de fractura en la zona de falla agregado-pasta de cemento.

La falla por adherencia depende básicamente de la calidad de la pasta y de la forma y textura del agregado, en las cuales sólo es factible influir en la primera. En la Figura, se indica la forma de dependencia que parece existir entre la relación agua/cemento de la pasta y su adherencia con el agregado. Se observa que en un cierto intervalo, la adherencia mejora al disminuir la relación agua/cemento, pero llega un punto en que una mayor reducción de esta última produce un efecto contrario.

Así mismo, la falla de la pasta por tensión o por cortante debe depender de su relación agua/cemento, de un modo similar a como ésta influye en su resistencia a la compresión.

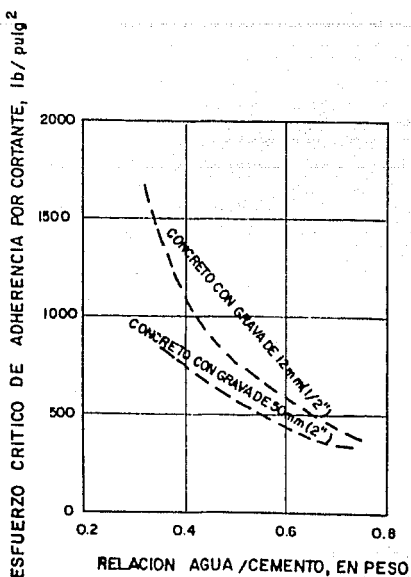


Influencia de la relación agua/cemento sobre la adherencia agregado-pasta de cemento.

En la falla del agregado por cortante suelen influir su calidad, forma y tamaño máximo. Las partículas de formas redondeadas generalmente producen fallas por adherencia y no por cortante, debido a la regularidad de las superficies, sin la presencia de protuberancias que puedan representar planos de debilidad.

Como se indica en la Figura, existe alguna evidencia en el sentido de que el aumento de tamaño máximo en el agregado produce cierta disminución en la resistencia por cortante entre éste y la pasta. Esta observación parece confirmar la conveniencia indicada con anterioridad, en el sentido de limitar el tamaño máximo del agregado, por consideraciones de esta naturaleza, cuando las mezclas de concreto se diseñan por flexión.





Influencia del tamaño máximo de grava en adherencia por cortante agregado-pasta.

## V. PRUEBAS REALIZADAS.

Se hicieron pruebas con probetas de 3/4" de espesor que contenían una sola malla galvanizada en algunas otras probetas se usó malla del 14 con retículas de 1 cm. x 1 cm.

Los detalles resultantes de las pruebas son los explicados a continuación:

### TENSION:

La resistencia a la tensión aumenta casi linealmente con el número de mallas. La máxima resistencia a la tensión era de 950 psi, lb/pulg<sup>2</sup> aproximadamente 2 veces el valor del concreto no reforzado pero menor a los valores cotizados por el ferro-cemento.

### COMPRESION:

La resistencia a la compresión, varía desde 5000 hasta 9500 psi con pequeña dependencia sobre el número de mallas. El valor para el concreto no reforzado es de 7000 psi. El tipo de falla observada (huecos entre mallas) indican que la unión en cruz de mallas es deseable y la buena penetración del ferrocemento es esencial.

### IMPACTO:

La resistencia al Impacto, varía linealmente con número

de mallas desde 50 a 100 psi.

PRUEBAS DE MEMBRANA:

En esta prueba, un panel o bloque de 30 x 30 cm. fué -- cargado repetidamente por un pistón de 1" de diámetro - hasta que ocurrió la falla.

La máxima carga soportada varió desde 500 lbs. (una capa de malla) hasta 2000 lbs. (cuatro capas de malla). - Los bloques resistieron más, al aplicar las cargas al - frente (de Canto).

PRUEBAS DE MEMBRANA/IMPACTO:

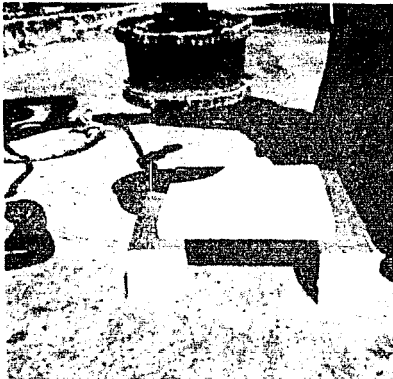
Esta prueba fue similar a las pruebas de compresión sólo que el pistón fué substituido por un peso en caída libre. El resultado de esta prueba fué mas cualitativo que cuantitativo, dado que el punto de falla es difícil de definir, la resistencia al impacto fue menor a la esperada. Las fallas para bloques de 2 a 4 capas de malla - fueron por agrietamientos desde 27 a 200 lbs.-in.

Las fallas para bloques con 6 o más capas fueron por im pacto puntual desde 36 a 300 lbs.-in. El alto valor de resistencia fue en el frente y las capas planas.

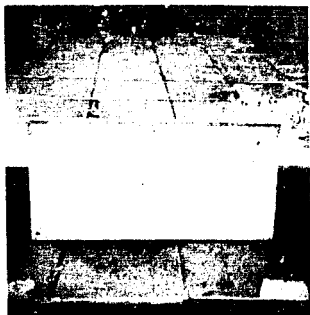
Se hicieron cinco pares de probetas de ferro-cemento que tenían una dimensión de 30 x 30 cms. con un espesor de -

3/4 de pulg., las cuales se probaron de la siguiente manera:

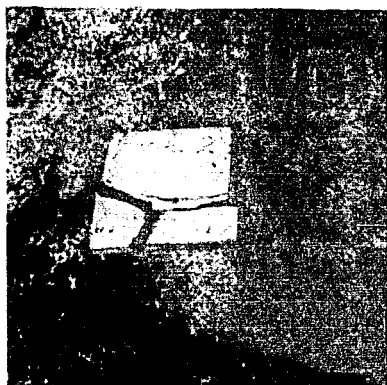
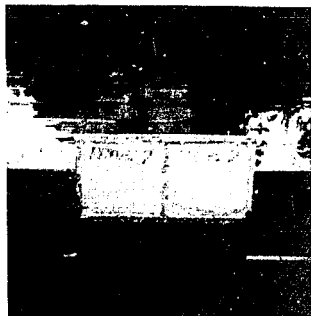
Par No. 1.- Se probó cuando el ferro-cemento estaba seco a una temperatura ambiente y a una altura de 5 mts. se le dejó caer un peso de 35 kilogramos.



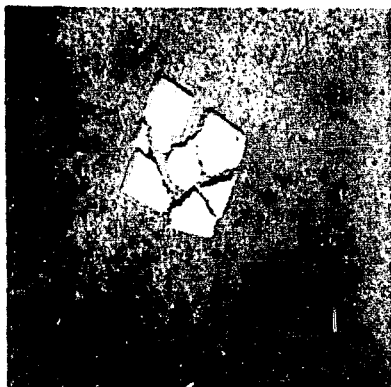
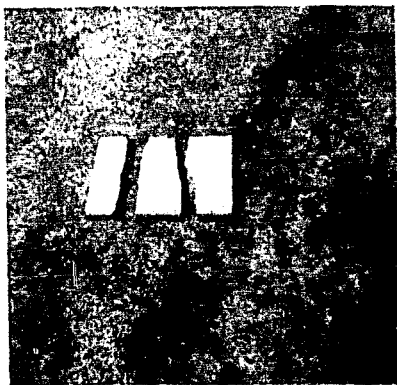
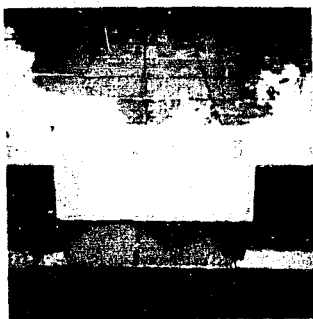
Como se puede observar en las fotografías siguientes, el material no dió buen resultado.



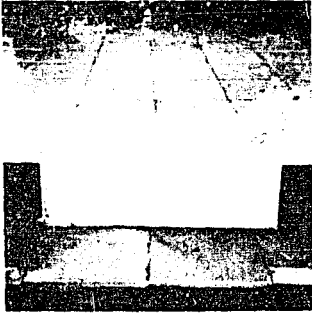
Par No. 2.- Estas probetas se probaron a la temperatura de  $17^{\circ}\text{C}$  habiendo estado sumergidas en agua durante 10 min. Se dejó caer el peso de 35 kg. a una altura de 25 cm. y los resultados se pueden observar en las siguientes figuras: el material resistió un poco más.



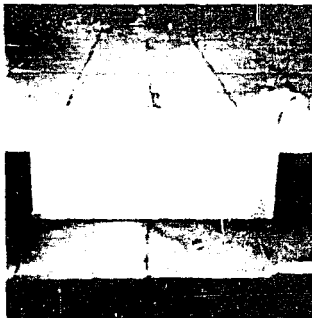
Par. No.5. - Estas probetas se metieron a un congelador hasta alcanzar la temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . El peso de 35 kg. ahora se dejó caer desde una altura de 50 cm. observándose lo siguiente:



Par No. 4.- En este caso las probetas se calentaron hasta alcanzar una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ , pero ya no se efectuaron ningunas pruebas con el peso de 55 kg. por observarse en las pruebas anteriores que el tipo de armado no había dado resultados positivos.



Bar No. 5.- Estas probetas se pusieron en un vibrador por un tiempo de 3 horas, pero del mismo modo que en las probetas No. 4, no se efectuó la prueba por razones obvias; concluyendo así que el tipo de armado debería ser cambiado.





EQUIPO UTILIZADO:

Para la elaboración de la lancha, hubo necesidad de recurrir al siguiente equipo:

- a) Martillos y Mazos
- b) Pinzas de corte y de chofer.
- c) Tijeras de cortar lámina.
- d) Arco y Segueta
- e) Equipo de soldadura autógena y eléctrica.
- f) Flexómetro.
- g) Calibrador Pie de Rey.
- h) Tornillo de Banco
- i) Palasy cucharas de albañil.
- j) Mallas para cribar o tamizar.
- k) Lijas.
- l) Compresora y pistola para pintar.

Como se ha observado en la lista anterior, no se hizo uso de ningún aparato o herramienta complicada.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION:

Para la realización de la embarcación, se siguió el procedimiento que a continuación se describe:

- a) Primeramente se fabricó el ESQUELETO o ARMAZON utili-

zándose tubo conduit de 3/4", y varilla corrugada de 1" para la quilla.

- b) se pensó en escoger el tipo de alambón más adecuado para formar un reticulado de 2" x 5"; eligiendo así, el alambón corrugado de alta resistencia.

Este tipo de retícula se formó a base de amarres con alambre recocido de 2 mm. de diámetro, en cada uno de sus nodos.

- c) Ya que estaba formado el esqueleto por medio del tubo conduit, la varilla y las retículas de alambón corrugado, se procedió a tender la primera capa de malla en su parte interior. En este paso se utilizó una malla de tipo hexagonal galvanizada de 1/2" (gallinero) la cual trabaja en todas direcciones, aumentando así, la resistencia al impacto.

- d) Como siguiente paso, se tendieron dos capas más de malla en la parte exterior de la lancha.

La malla que se utilizó en este paso, fué del tipo cuadrículada galvanizada con retícula del 1.0 x 1.0 cm.

Este tipo de malla, nos sirvió para dar forma y resistencia al casco, por trabajar en cuatro direcciones y ser muy rígida.

- e) Después de haber amarrado ya las tres capas de malla anteriores, se procedió a amarrar por su parte interior, una cuarta y última capa de malla con las mismas características que las dos anteriores.

Nota: Todas las capas de malla fueron fijadas y amarradas con alambre recocido, en cada uno de sus nodos.

- f) El siguiente paso fue, el de colocar refuerzos con solera a lo largo de cada una de las cuernas, asegurando así, la resistencia al oleaje. De esta manera quedó terminada la estructura.

- g) Dando por terminada la estructura, el siguiente paso fue, el de tender el colado, que se llevó a cabo como se explica a continuación:

Primeramente se calzó la lancha a una altura de 1 mt. después se preparó la mezcla, y por último se coló dejando fraguar por un tiempo de 28 días.

- h) Como siguiente y último paso, se llevó a cabo el proceso de detallado y pintado, para lograr así, un buen acabado de la embarcación.

MATERIALES EMPLEADOS:

Dentro de la construcción de la embarcación se utilizaron los siguientes materiales:

- a) Tubo conduit de 3/4".
- b) Varilla corrugada de 1" de diámetro.
- c) Alambrón corrugado de alta resistencia, el cual fué elegido por tener las siguientes características.
- El alambrón corrugado alcanza un límite de fluencia de  $6000 \text{ kg/cm}^2$  contra  $2300 \text{ kg/cm}^2$  que tiene el alambrón común.
  - La resistencia en el límite de fluencia es:
  - Alambrón común:  
 $\text{As . fy} = 0.320 \text{ cm}^2 \times 2300 \text{ kg/cm}^2 = 736 \text{ kg.}$
  - Alambrón corrugado:  
 $\text{As . fy} = 0.124 \text{ cm}^2 \times 6000 \text{ kg/cm}^2 = 744 \text{ kg.}$

Su adherencia es de 3 a 4 veces mayor a la del alambrón común por tener tres filas de corrugaciones.

El alambrón común pesa  $0.248 \text{ kg/m}$ .

El alambrón corrugado pesa  $0.097 \text{ kg/m}$ .

**DATOS Y MEDIDAS**

Diámetro nominal	398 mm ( $\frac{5}{32}$ " )
Area	$0.124 \text{ cm}^2$
Peso	$0.097 \text{ kg/m}$
Metros por ton.	10.309 m
Límite de influencia (garantizado mínimo)	$6.000 \text{ kg/cm}^2$

- d) Alambre recocido de 2 mm. de diámetro.
- c) Un rollo de tela de gallinero (hexagonal) galvanizada de 1/2".
- f) Dos rollos de malla cuadrada galvanizada con una retícula de 1.0 cm. x 1.0 cm.
- g) Soelra de 3/4" que se usó como refuerzo.
- h) Cemento PORTLAND del tipo I.
- i) Arena cribada de Santa Fé y del Ajusco.
- j) Pintura anticorrosiva.

## CONCLUSIONES

En lo que respecta a la embarcación de ferrocemento podemos ver las múltiples ventajas que posee respecto a otro tipo de embarcaciones.

Una de las principales ventajas que pudimos observar a través de la construcción de la embarcación fué la de no depender de mano de obra especializada así como de herramientas especiales y caras en su adquisición.

Esta embarcación puede ser fabricada por cualquier obrero usando como herramientas las convencionales como son: pala, cuchara, pinzas, martillo, etc.

El costo del material es mucho menor que el de la madera ó la fibra de vidrio, las cuales actualmente se fabrican, así como el tiempo y costo de la reparación también es mucho más bajo que el requerido en cualquier otro tipo de embarcación.

Otra de las ventajas del ferrocemento es la de ser auto-sella-ble debido a las reacciones de las sales y entre más agua absorbe es mayor su resistencia.

Cabe mencionar que los cambios bruscos de temperatura provocarían agrietamientos en el casco de la embarcación, por lo tanto se recomienda usarla en lugares donde no se presenten éstos cambios.

Concluiremos diciendo que la embarcación es altamente recomendable por las características que a continuación se presentan:

Bajo costo en la mano de obra

Bajo costo de las herramientas

Bajo costo del material

Bajo costo en mantenimiento.

1. ACI Committee 211.1, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete", Detroit, 1974.
2. ACI Committee 211, "Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete", Detroit, 1974.
3. ACI Committee 211.2, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete", Detroit, 1969.
4. Comité ACI 212, "Guía para el empleo de aditivos en el Concreto", IMCYC, 1974.
5. Portland Cement Association, "Basic Concrete Construction Practices", John Wiley and Sonse Inc., New York, 1975.
6. M. Venuat et M. Papadakis, "Contrôle et Essais des Ciments, Mortiers, Bétons", Editions Eyrolles, Paris, 1961.
7. ACI committee 311, "ACI Manual of Concrete Inspection", Publication SP-2, Detroit, 1975.
8. U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual", Eighth Edition, Washington, 1975.
9. ASTM Designation C 33, "Standard Specification for Concrete Aggregates", Philadelphia, 1975.
10. Powers, T.C., "Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste", Journal of American Ceramic Society, Jan., 1958.



11. Alexander, K.M., Wardlay, J., and Gilbert, D.J., "Aggregate Cement Bond, Cement Paste Strength and the Strength of Concrete", Proceedings of International Conference on the Structure of Concrete, Cement and Concrete Association, London, 1965.
12. Comité ACI 304, "Colocación del concreto por métodos de bombeo", IMCYC, 1974.
13. Mecánica del Buque.
14. Transferencia de calor Kreith.
15. Termodinámica de Reynolds.
16. Mecánica de fluidos Streeter.
17. Tablas de Vapor.

## VII FOTOGRAFÍAS

