

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias biológicas, Oceanicas y Recursos Naturales

Centro de Información Bibliotecaria

No. DE INVENTARIO: D-61039

VALOR:

CLASIFICACIÓN:

FECHA DE INGRESO:

PROCEDENCIA:

SOLICITADO POR:

"ANALISIS DEL LANZAMIENTO LATERAL Y LANZAMIENTO
LONGITUDINAL"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE

I N G E N I E R O N A V A L

POR:

E D U A R D O L U N A A L C I V A R

GUAYAQUIL-ECUADOR

SEPTIEMBRE, 1.976

"ANALISIS DEL LANZAMIENTO LATERAL Y LANZAMIENTO
LONGITUDINAL"

DIRECTOR DE TESIS



ING. JOSE BECERRA VILLAGOMEZ

A U T O R



EDUARDO LUNA ALCIVAR

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis corresponden exclusivamente al Autor, y que el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL).

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a los Profesores del Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, en especial al ING. JOSE BECERRA, y a todas las personas que han colaborado para la realización de esta TESIS.

DEDICATORIA:

A mis padres:

MIGUEL y RUTH

Gracias

"ANALISIS DEL LANZAMIENTO LATERAL Y LANZAMIENTO LONGITUDINAL"

CONTENIDO:

	Pág.
SIMBOLOGIA	
I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACION	2
III. CONSIDERACIONES GENERALES	3
IV. ANALISIS DEL LANZAMIENTO LONGITUDINAL	16
a) Descripción General	16
b) Etapas del Lanzamiento Longitudinal	64
c) Cálculos	94
d) Ejemplos	118
e) Diagramas	128
V. ANALISIS DEL LANZAMIENTO LATERAL	129
a) Descripción General	129
b) Etapas del Lanzamiento Lateral	137
c) Cálculos	176
d) Ejemplos	181
e) Diagramas	184
VI. COMPARACION ENTRE LOS LANZAMIENTOS LONGITUDINAL Y LATERAL.	185
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
BIBLIOGRAFIA	188

SIMBOLOGIA

W	=	Peso del buque y la cuna
R	=	Reacción de las imadas en sentido normal a su superficie.
f	=	Fuerza de rozamiento
B	=	Fuerza de boyantez
R_H	=	Resistencia hidrodinámica
k	=	Extremo de la imada.
c.g.	=	Centro de gravedad
S	=	Extremo de proa de las anguilas
θ	=	- formado por el extremo inferior de las imadas en la antegrada.
x_o, y_o	=	Coordenadas del origen respecto al centro del círculo
r	=	Radio del círculo
K	=	Cte. $= \frac{r}{\sqrt{1+a^2}}$
Y_c	=	Valor de ordenada para una abcisa X
tg ψ_c	=	Pendiente en el punto correspondiente de abcisa X
Y_p	=	Ordenada para una abcisa X según Andrews.
tg ψ_p	=	Pendiente en el punto correspondiente de abcisa X según Andrews.
KB	=	Centro de boyantez
H_{pp}	=	Calado a popa
Q	=	Altura del talon de codaste sobre la superficie del agua.
x	=	Recorrido
h	=	Altura del calado de popa sumergido hasta el nivel del agua.
ψ	=	Angulo formado con la pendiente de quilla.
H_{pr}	=	Calado a proa
L	=	Eslora del buque
P_{pp}	=	Perpendicular en popa.
S	=	Posición inicial del talón de codaste respecto al origen de ordenadas.
q	=	Altura del talón de codaste sobre la superficie de deslizamiento.
Y_s	=	Altura del final de la antegrada hasta la superficie de deslizamiento.

- l = Largo de la zapata apoyado sobre picaduras secas.
- l_T = Longitud total de la zapata.
- $C_{f'}$ = Coeficiente de rozamiento de madera seca con madera.
- C_f = Coeficiente de rozamiento de madera seca con piezas ya engrasadas.
- C_{fo} = Coeficiente de rozamiento inicial.
- P = Presión específica = $\frac{P}{A_a} \left(\frac{x_p}{\text{cm}^2} \right)$
- P = Peso sobre la superficie de las anguilas.
- A_a = Superficie de las anguilas.
- a = Coeficiente de rozamiento obtenido experimentalmente.
- t = Temperatura en °F
- T = Peso de la rastra.
- C_{f1} = Coeficiente de rozamiento de las rastras en el agua.
- F = Esfuerzo de retención
- P_R = Carga de rotura de la boza
- A = Alargamiento del cable por efecto de la carga P_R
- D = Longitud del cable hasta la boza antes de tomar la tensión.
- d = Distancia entre dos bozas consecutivas.
- e = Longitud del cable entre sus ligaduras a dos bozas consecutivas.
- g = gravedad
- x'' = Aceleración
- β = Angulo formado por el nivel del agua y el extremo de la antegrada sumergida.
- μ = Coeficiente de fricción.
- μ_D = Coeficiente de fricción dinámica
- μ_E = Coeficiente de fricción estática
- t = Tiempo
- x_0 = Velocidad inicial
- x_0 = Recorrido inicial
- M_V = Momento de boyantez
- α = $\frac{1}{2}$ de inclinación de la quilla respecto a la horizontal
- V = Volumen del agua desalojada
- γ = Peso específico

M_W	=	Momento del peso
s	=	Distancia desde el origen de la antegrada.
c	=	Distancia del centro de gravedad al centro de boyantez.
Y	=	Ordenada del punto de intersección del nivel del agua y el eje OZ.
T_O	=	Distancia desde la quilla hasta el nivel del agua.
b	=	Distancia desde la grada hasta la quilla.
N	=	Resultante de las fuerzas de peso y boyantez.
M_N	=	Momento de la resultante de las fuerzas de peso y boyantez.
A_W	=	Area del plano de agua.
X_f	=	Abcisa del centroide.
λ, K_S	=	Constantes
B_S	=	Momentum del fluido que rodea a un cuerpo sumergido en movimiento.
M_S	=	Masa añadida de agua en movimiento rectilíneo.
C_S	=	Factor adimensional
ρ	=	Densidad del agua.
U, Z	=	Funciones de la distancia recorrida
u	=	Variable
G	=	Constante de integración
X_l	=	Distancia recorrida durante la segunda etapa
N_l	=	Resultante del peso y la boyantez al final de la segunda etapa.
R_S, R_N	=	Componentes de la resistencia del agua
M_R	=	Momento de la resistencia
L_2	=	Longitud de la parte posterior de la anguila
I_Y	=	Inercia
ψ'	=	Velocidad angular
ψ''	=	Aceleración
X_p, Z_p	=	Coordenadas del punto de aplicación
M_y	=	Momento externo para pequeñas inclinaciones
δ_p	=	Fuerza externa para pequeñas inclinaciones
ψ_l	=	τ de asiento.

GM	=	Altura metacéntrica
P_T	=	Peso transferido
I_e	=	Inmersión de los extremos anteriores de las anguilas.
L_1	=	Longitud de la parte anterior de la anguila
V_s	=	Volumen sumergido
T'	=	Máxima inmersión posible del extremo posterior de las anguilas.
τ_T	=	Mitad del período del levantamiento
ΔM	=	Masa añadida
H	=	Calado
B	=	Manga
$\Omega, \Delta,$	=	Coefficiente adimensional
b	=	Brazo de palanca
F_f	=	Resultante de las fuerzas friccionales
ω''	=	Aceleración angular de rotación
ρ_z, ρ_x	=	Radio de giro
b_a	=	Ancho total de las anguilas
n	=	Numero de anguilas
F_h	=	Componente horizontal de la reacción de la antegrada.
N_i	=	Componente normal de la reacción de la antegrada.
E_a	=	Máxima inmersión del extremo de las anguilas.
D_n	=	Altura desde el extremo de la antegrada (eje η) hasta el nivel del agua.
L.C.G.	=	Centro de gravedad longitudinal.

I. INTRODUCCION

Existen diversas maneras de colocar un buque en el agua cada uno de ellos ligado al modo como se construye el buque.

El buque puede ser construido en un dique seco que al ser llamado permite que este salga flotando, o en gradas donde el buque se desliza hacia el agua lo que se denomina lanzamiento.

El lanzamiento de un buque es una operación de extrema importancia y potencial peligro. A no ser que los cálculos y los detalles de procedimientos sean llevados con cuidado y juicio pueden resultar un serio desastre.

Si el buque se desliza hacia el agua por proa o por popa se denomina lanzamiento longitudinal y si es de costado se llama lanzamiento transversal.

Los objetivos de esta tesis son: el estudio estático y dinámico de estas formas de lanzamiento, una secuencia de forma de cálculo preliminar y establecer las bondades de cada una de estas formas de lanzamiento.

Es importante notar que a lo largo de esta tesis se empleará terminología de uso común en España para introducir en nuestro medio una terminología propia del idioma español y no las traducciones libres de idiomas extranjeros que se han venido utilizando.

II. JUSTIFICACION

Estando el país en una etapa de desarrollo industrial, el Gobierno Nacional a través de la Armada ha encargado un estudio de factibilidad de diseño de un Astillero, el mismo que tendrá grada de construcción y reparación, por lo que el presente estudio tiene su justificación en que puede ser aplicado al lanzamiento de buques en este nuevo astillero.

Por diversos motivos hasta la presente no ha sido presentado el informe final de Astinave por cuyo motivo los ejemplos presentados en este estudio corresponden al buque diseñado para la Escuela de Pesquería.

La falta de información relativa a las dos formas de lanzamiento transforma este trabajo en una guía de interés académico tanto por los estudios estáticos y dinámico como por la terminología empleada. Además podrá servir de base para los estudios de lanzamientos cuando se realicen en nuestro medio

III. CONSIDERACIONES GENERALES

Se entiende por lanzamiento la acción de lanzar un buque al agua, con ella, el peso del mismo que durante su construcción ha sido soportado por picaderos, almohadones y puntalès, se transfiere a su flotabilidad sobre las aguas.

La forma más simple de efectuar esta operación consiste en suspenderlo por medio de una grúa, terrestre o flotante, mediante eslingas adecuadas, para depositarlo seguidamente en el agua.

El procedimiento es tan solo de aplicación a buques de poco peso, pero cuando se trata de cascos mucho más pesados hay otra forma, muy elemental también, de realizar su lanzamiento mediante la inundación del recinto en que se han construído. Esto requiere, por supuesto, que el citado recinto sea susceptible de ser inundado con profundidad suficiente del agua respecto al nivel de la marca exterior, para que el buque pueda flotar libremente y ser maniobrado para sacarlo, y aunque la operación no es tan simple que se piense que se pueda hacer de cualquier modo, los cálculos que hay que estudiar y las precauciones a tomar son relativamente sencillas, frente a las complicaciones y dificultades que siempre ofrece un lanzamiento.

A pesar de ello, dado el elevado costo de los diques de construcción, lo más común es que la puesta a flote de los buques se haga por deslizamiento sobre trenes adecuados. Para ello el peso del buque se confiere a una cuna especial de madera; la cual está apoyada sobre piezas que deslizarán sobre guías fijas. El deslizamiento puede tener lugar en un plano horizontal, induciéndolo mediante una fuerza motriz para trasladar el buque hasta depositarlo en otra posición, como puede ser sobre un dique flotante o por lanzamiento en un plano inclinado, aprovechando simplemente la fuerza de la gravedad. Este último caso es el más frecuente y constituye una de las operaciones más espectaculares que nos depara la construcción Naval.

Su ejecución se suele celebrar con brillantez, lo cual no mengua lo más mínimo los peligros que implica, como se puede imaginar por el carácter transitorio que tiene la cuna de madera que se construye exclusivamente para este fin, el peso tan notable que sobre ella se apoya, la velocidad con que se desarrolla y la irreversibilidad con que todo sucede, sin posibilidad de detención en cuanto se han liberado las retenidas. En pocos segundos se comprobará si los largos estudios de lanzamiento y la ejecución de los trabajos han sido acertados ya que cualquier error puede suponer una catástrofe.

La dirección del lanzamiento es comúnmente la longitudinal del buque. En algunos casos la dársena en la que penetra durante su lanzamiento, está limitada por muelles próximos y hay que aplicar sistemas adecuados de retención para frenar y detener totalmente el casco con el fin de evitar que su primera acción a flote termine en una colisión. La entrada en acción de las retenidas, perfectamente programadas por el proyectista, se desarrollará en unos instantes, dándole a la operación, si cabe, mayor grandiosidad.

Cuando el espacio que se dispone no admite el lanzamiento longitudinal, este se practica en sentido transversal y la entrada del casco en el agua la efectúa bruscamente, tomando una escora notable y levantando una gran masa de agua.

Los trenes de deslizamiento, aunque pueden ser de bolas, están constituidos generalmente por grandes piezas rectas de madera terminadas inferiormente en una superficie plana que resbala sobre otras piezas apoyadas firmemente, mediante la interposición de grasas que reducen su fricción. La cuna que soporta el buque puede apoyarse sobre una sola pieza longitudinal - que se coloca centralmente debajo de la quilla y que se denomina "zapata".

(R) y el rozamiento (f) en sentido tangencial a la misma; siempre que no asistan otras fuerzas como puede ser la del viento, que deben merecer especial atención.

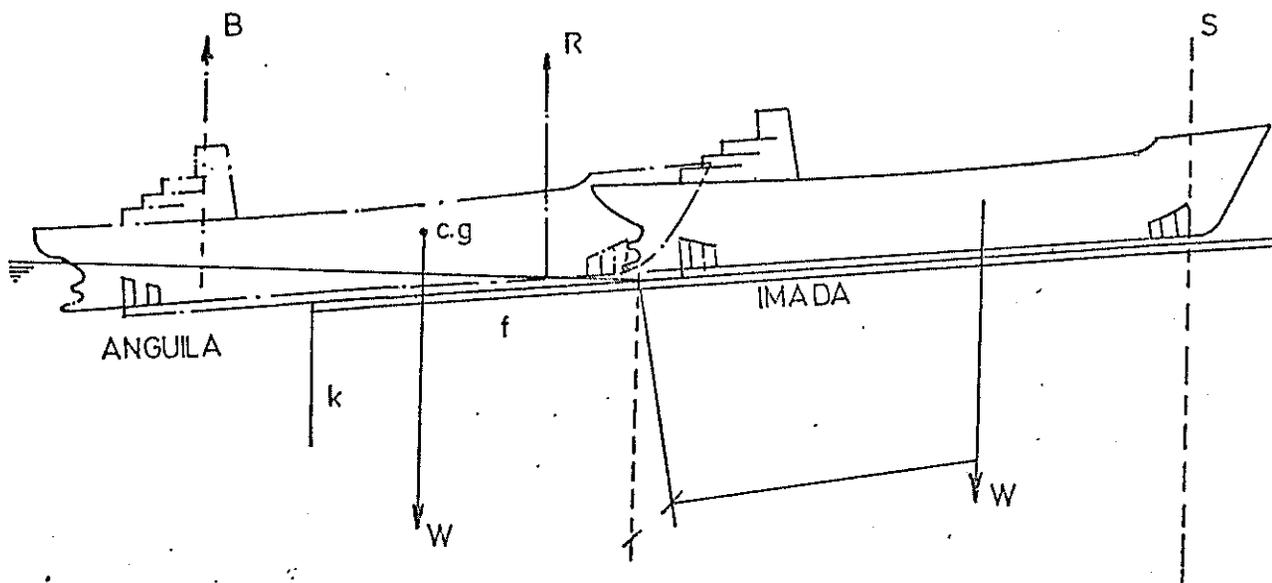


FIGURA N^o 1

Tan pronto el buque penetre en el agua, aparecerán dos nuevas fuerzas: La Boyantez (B) de la parte sumergida a la resistencia hidrodinámica (R_H) del agua. Otro fenómeno que se aprecia en esta fase es que la superficie de las anguilas en que está apoyado, irá disminuyendo a medida que estas van saliendo del extremo k de las imadas.

La Boyantez resulta en una fuerza vertical de empuje, situada en el centro de carena de esta parte sumergida y de sentido opuesto al peso W situado en el centro de la gravedad (c.g.). Teniendo en cuenta que el buque está simplemente apoyado, este par de fuerzas determinará las condiciones de despegue. El valor del empuje irá creciendo a medida que el casco penetra en el agua. El momento de esta fuerza respecto al extremo de proa de las anguilas (S) será así mismo creciente, mientras que el momento del peso W respecto al mismo punto S es constante,

Esta desliza sobre otra pieza única, anclada firmemente al suelo que recibe el nombre de "corredora" y que se extiende por toda la grada hasta el fin de la antegrada, o prolongación sumergida de la grada, por la que ha de seguir el buque apoyado hasta quedar a flote.

En la actualidad, la más común es utilizar para el deslizamiento dos piezas paralelas.

La cuna se apoya en estas dos piezas, unidas a ella y entre sí, llamadas "anguilas" por el carácter resbaladizo que implica las cuales deslizan sobre sendas piezas fijas o "imadas" ancladas sobre la solera.

En casos especiales se han empleado trenes de lanzamiento formados por tres y hasta cuatro imadas. Con los grandes petroleros se ha utilizado también en alguna ocasión una tercera imada, limitando la anguila correspondiente a la zona del casco sobre la que se esperan los esfuerzos mayores, con el fin de repartir la carga.

En el caso más frecuente de utilizar dos imadas, la separación entre ellas puede variar de unas a otras, siendo aproximadamente de 1/3 de la manga. Las imadas se extienden hasta el fin de la antegrada, mientras que las anguilas suelen tener longitudes entre el 75% y el 85% de la eslora del buque, quedando en voladizo los extremos de proa y popa del casco. El ancho de las anguilas, así como su longitud vienen determinadas por las condiciones y en particular las presiones que, por cálculo, se prevee que se van a desarrollar durante el lanzamiento.

En el lanzamiento, el movimiento del buque se inicia por deslizamiento sobre una superficie inclinada, entrando en juego como fuerzas que lo regulan, el peso del buque y la cuna (W).

La reacción de las imadas en sentido normal a su superficie

puesto que el c.g. como el punto S tienen definida su posición en el casco y se desplazan con el. (Figura N° 1).

A partir del instante en que el momento del empuje respecto al citado punto S se iguale al correspondiente del peso, seguirá aumentando cada vez más, y el par resultante determinará la elevación de la popa del buque, efectuando lo que se denomina el "GIRO", apoyando todavía sobre la arista formada por los extremos de proa de las anguilas, durante unos momentos en que la reacción de las imadas se concentra en dicha arista. (Figura N°2).

El valor de esta reacción concentrada puede llegar a producir esfuerzos importantes en la parte de proa de la cuna y en la zona de la estructura del buque que apoya sobre ella, coincidiendo con los finos de proa, mediante unos castilletes de madera especialmente reforzados, que reciben la denominación de "Soportes" de proa. A su vez, la acción se aplica sobre una zona de terminada de la grada, cuya infraestructura ha de reunir las debidas condiciones de resistencia y rigidez para soportarla.

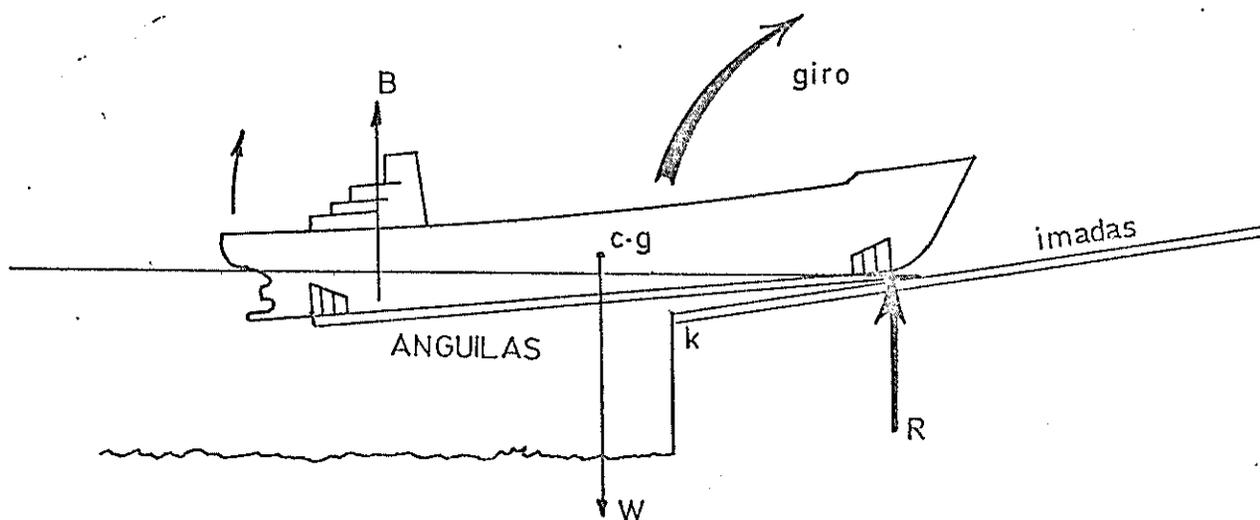


FIGURA N° 2

Si antes de llegar a esta situación que hemos descrito, la resultante del peso W , traspasará el extremo k de las imadas, originando un momento respecto a este punto, contrario al sentido de las agujas del reloj y este momento llegase a igualar y superar al momento del empuje B respecto al mismo punto k , se producirá también un despegue, pero por caída de la popa, apoyándose el casco aún sobre la arista del canto inferior de las imadas k y levantando la parte de proa en una situación que se denomina "ARFADA" y que se prolonga hasta que, con la inmersión de la popa, aumenta el empuje, cayendo entonces la proa sobre el extremo de la antegrada, con la cuna probablemente deshecha en el despegue poniendo en peligro el lanzamiento y con riesgos de que se produzcan fuertes averías en la estructura del casco. (Figura N° 3).

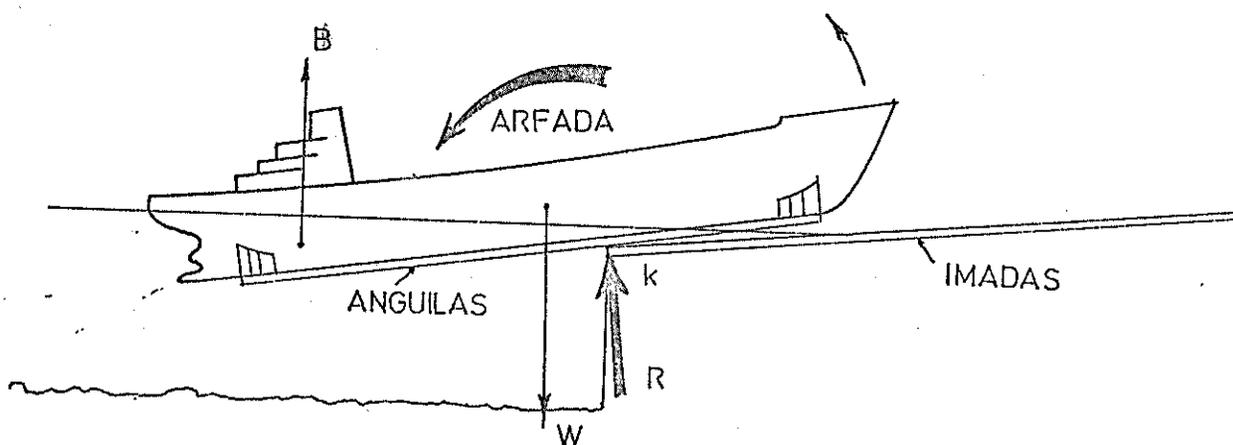


FIGURA N°3

Si el lanzamiento transcurre normalmente sin que haya arfada, con un giro más o menos acentuado, puede suceder que cuando el extremo de proa de las anguilas alcance el extremo inferior de las imadas, en cuya posición es obvio que el momento del peso W respecto a S será idéntico con respecto a k por coincidir ambos puntos, y si es que hay todavía una reacción por

ser aún $W > B$, al faltar este apoyo la proa del buque caerá en su movimiento deslizante, para levantarse seguidamente hasta que las fuerzas del peso y desplazamiento alcancen su equilibrio. Este movimiento de la proa es el que se conoce expresivamente por el "SALUDO" (Figura N° 4).

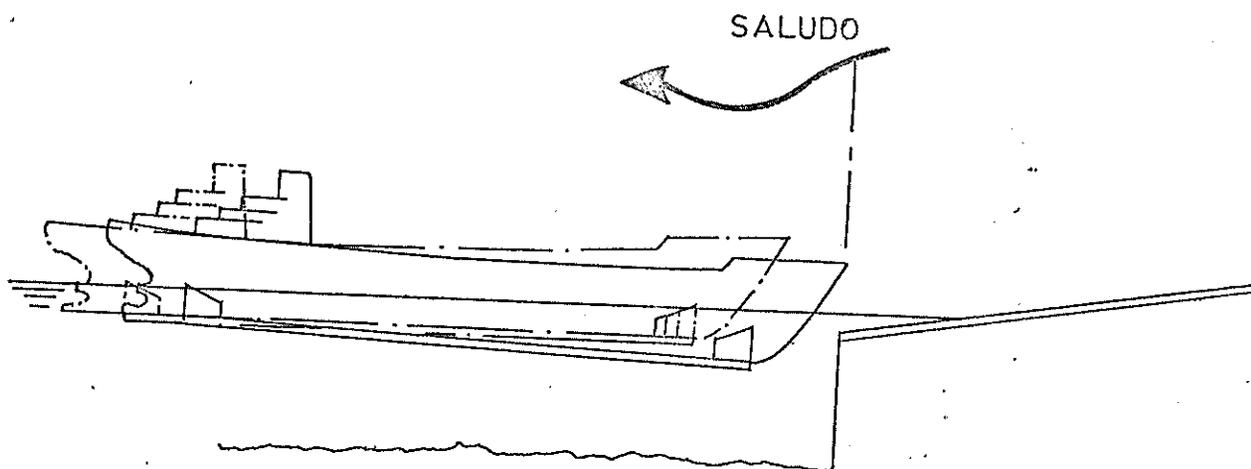


FIGURA N°4

Si la reacción llegase a anularse antes de que el extremo de proa de las anguilas alcance el extremo inferior de las imadas, el buque quedaría flotando ya libremente en equilibrio a partir de ese momento, sin contacto con las imadas.

Vemos que hay una serie de condiciones que pueden presentarse y que necesitamos conocer de antemano, con el fin de modificar las que están a nuestro alcance hasta lograr que el lanzamiento pueda llevarse a cabo de forma satisfactoria.

El procedimiento a seguir para ello es:

1. El cálculo de las fuerzas verticales que se desarrollan a lo largo del deslizamiento para determinar las condiciones tales como giro, arfada, saludo y conocer los valores que tomará la reacción de apoyo, distribución de la presión sobre la cuna, sobre el fondo del buque, sobre los soportes en el giro y sobre la grada.

2. El análisis de los movimientos del buque para asegurarse de que durante el lanzamiento, ninguna de sus partes va a golpear en el fondo ni en los objetos sólidos circundantes.
3. El estudio dinámico del lanzamiento con el fin de conocer - las condiciones de arranque y deslizamiento, las velocidades que tomará el buque y definir los medios de retenida que han de aplicarse para lograr su detención en el espacio de que se dispone.

En concordancia con los cambios en el movimiento de un buque y fuerzas operando en el lanzamiento longitudinal, este es dividido en cuatro etapas. Cada nueva etapa empieza en el instante que ocurre un cambio en el movimiento o nuevas fuerzas son introducidas o las fuerzas operando previamente cesan de actuar.

La primera etapa es reconocida desde el comienzo del movimiento al punto en el cual la cuna entra al agua. El margen final de la primera etapa es el punto en el cual hay presión de agua en evidencia. El buque viaja en una dirección paralela a la superficie de las imadas. El buque está sujeto al peso y a la reacción de la base.

La segunda etapa es reconocida desde el final de la primera etapa al punto de comienzo en que la popa se eleva. El margen final de la segunda etapa es el comienzo del pivoteo alrededor del eje perpendicular al plano diametral que pasa por el extremo de popa de las anguilas. El buque viaja en una dirección paralela a la superficie de las imadas. El buque está sujeto al peso, la reacción de la base y la presión del agua. Durante la segunda etapa el buque puede inclinarse o ladearse cerca del final de las vías.

La tercera etapa es reconocida desde el final de la segunda etapa al punto de levantamiento de las anguilas fuera de las imadas. El margen final de la tercera etapa es el punto en el que la reacción de la base cesa de actuar. El buque desliza con el

extremo de la popa de las anguilas viajando hacia abajo de las imadas y al mismo tiempo pivotea alrededor del eje horizontal que pasa por ese extremo, un levantamiento gradual toma lugar. El buque está sujeto al peso, la reacción de la base y la presión del agua.

La cuarta etapa es reconocida desde el final de la tercera etapa a la parada completa del buque. Al comienzo de la cuarta etapa el buque puede caer fuera de las vías si la profundidad del agua sobre la antegrada no es adecuada. Desde la iniciación de la cuarta etapa o después de la caída, si tiene lugar, el buque se mueve por inercia. De acuerdo a la naturaleza del movimiento precedente podrá haber un movimiento de traslación acompañado por cabeceo y levantamiento. El buque está sujeto al peso y a la presión del agua.

El lanzamiento lateral es particularmente adaptado a ríos o canales estrechos donde el ancho restringido no permite un suficiente espacio para correr como se requiere para lanzamientos longitudinales.

El proceso de lanzamiento lateral comprende la instalación de las imadas bajo el buque y al frente del agua, la construcción de una cuna entre las imadas y el casco, la transferencia del peso del buque, de los puntales de soportes y bloques a la cuna y la puesta en libertad de la cuna y casco, permitiendo al buque deslizarse por la acción de la gravedad; siendo este proceso común a la operación del lanzamiento longitudinal.

Los métodos empleados son numerosos y variados y reflejan las diferencias en las disposiciones físicas y experiencias de los astilleros implicados.

Durante la construcción, el buque es soportado por bloques de quilla de la línea central, paralelo a la orilla del agua con cunas y apuntalamientos como es requerido. La localización y extensión de la estructura de los soportes son establecidos a

conveniencia para los arreglos de la construcción de deslizamiento y la distribución estimada de carga para el buque bajo construcción. Un requerimiento especial para lanzamientos laterales es que los soportes de la base sean lo suficientemente adecuados como para soportar las grandes cargas en los extremos salientes de las imadas.

Es costumbre lanzar el buque tan pronto como la obra viva del caso esté terminada para aprovechar la grada de lanzamiento para nuevas construcciones. Así el lanzamiento puede ser planeado cuando el buque está 65% - 75% completo aunque en respecto al peso puede estar cercanamente 90% y 95%.

Para utilizar las vías de lanzamiento más eficientemente, algunos astilleros son arreglados de tal forma que un buque puede ser parcialmente edificado sobre una grada de construcción y entonces movidos por medios mecánicos a las vías de lanzamiento dejando el área de construcción libre para otro casco. La operación de lanzamiento lateral son particularmente adaptables a tales procedimientos y pueden en efecto, llegar a ser una etapa en el Método de Ensamblaje Lineal.

En lanzamientos laterales, después del comienzo del movimiento, el buque viaja en la misma forma como en el lanzamiento longitudinal, pero el centro de gravedad siempre tiene movimiento rectilíneo, ya que la inclinación de las vías es siempre constante en los lanzamientos laterales.

Las razones a ser discutidas en una etapa posterior son aquellas que pueden suceder cuando uno de los extremos se mueve más rápido que el otro y allí puede ocurrir la así llamada rotación de uno de los finales. El movimiento de traslación del buque estará acompañado por la rotación alrededor del eje perpendicular al plano de las gradas. Semejante fenómeno es prácticamente imposible en lanzamientos longitudinales.

Si el nivel del agua está arriba o cerca de la antegrada,

las anguilas entrarán rápidamente en el agua. Después, cuando el centro de gravedad pasa más allá de la antegrada, el balanceo comenzará, esto consiste, que mientras el buque sigue deslizándose fuera de la antegrada, simultáneamente pivotea alrededor de un eje horizontal que pasa por el extremo superior de la misma, perpendicular al plano del movimiento. (Figura N° 5).

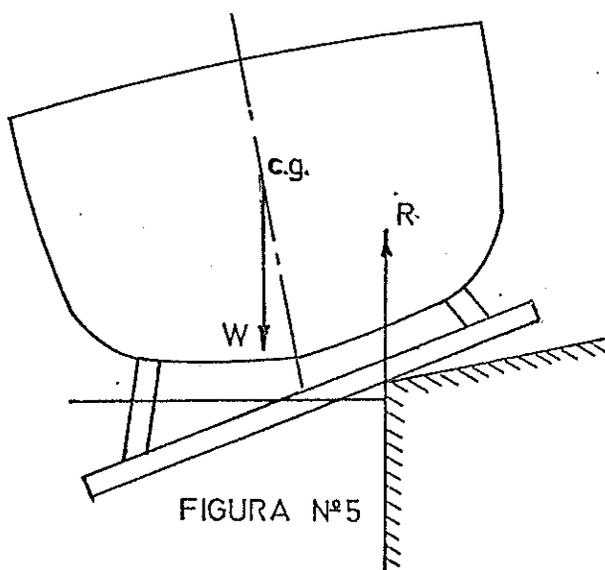


FIGURA N°5

Si las anguilas no han entrado al agua antes del balanceo, ellas necesariamente lo harán como resultado de este movimiento.

Desde este punto comienza una inmersión gradual de los arreglos de la construcción de deslizamiento, y más tarde del casco del buque. El deslizamiento del buque fuera de la antegrada termina en una caída después del cual el buque se mueve por la inercia obtenida del levantamiento, balanceo y un movimiento lateral de traslación. (Figura N° 6).

En concordancia con la naturaleza del movimiento de un bu-

que y el cambio en las fuerzas que operan en el lanzamiento lateral, es también dividido en cuatro etapas. Cada etapa comienza en el instante que ocurre un cambio de la naturaleza del movimiento o en las fuerzas que operan.

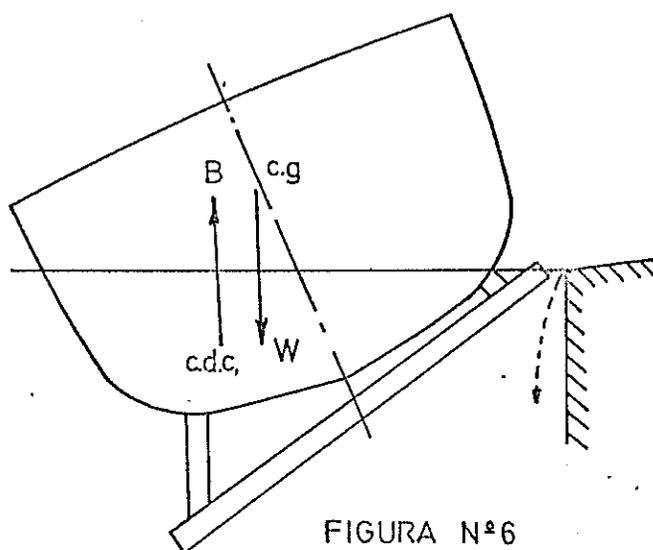


FIGURA N°6

La primera etapa es reconocida desde el comienzo del movimiento hasta el momento en que el buque comienza a inclinarse. El margen final de la primera etapa es el punto en el que hay un cambio en la naturaleza del movimiento. El buque tiene un movimiento rectilíneo y está sujeto al peso y a la reacción de la base. El buque puede ser rotado.

La segunda etapa es reconocida desde el fin de la primera etapa hasta el instante en que el casco del buque entra al agua. Las fuerzas producidas por la inmersión de las anguilas son ignoradas ya que ellas son relativamente pequeñas en los lanzamientos laterales. El margen final de la segunda etapa es el instante en el que hay presión del agua en evidencia. El buque tiene doble movimiento consistiendo en deslizamiento fuera de la antegrada y pivotea cerca de la misma, el buque está sujeto al peso y a la reacción de la base.

La tercera etapa es reconocida desde el fin de la segunda etapa, hasta la caída, el margen final de la tercera etapa es el punto en el que la reacción de la base desaparece. Las anquilas junto con el buque continúan deslizándose fuera de la antegrada y al mismo tiempo el buque pivotea cerca de la misma. El buque está sujeto al peso, la reacción de la base y la presión del agua.

La cuarta etapa es reconocida desde el final de la tercera etapa, al instante en el que el movimiento cesa. Durante la cuarta etapa la caída tiene lugar con el subsecuente movimiento por inercia que consiste en levantamiento, balanceo y traslación. El buque está sujeto al peso y a la presión del agua. Si la antegrada está más alta que el nivel del agua, la segunda etapa es reconocida desde el balanceo hasta la caída y la tercera etapa es reconocida desde la caída hasta la inmersión. Este caso es raramente encontrado en la práctica y no necesita mayor discusión.

IV. ANALISIS DEL LANZAMIENTO LONGITUDINAL

a. DESCRIPCION GENERAL

Comenzaremos por el análisis de las fuerzas verticales y de los momentos que intervienen durante el deslizamiento del buque con la cuna apoyada y durante el giro, si lo hay, hasta que flota libremente. Los datos que hemos de conocer son los siguientes:

1. ESTADO DE PESOS

Comprende la totalidad de los pesos que forman el objeto que se lanza y la posición exacta de su centro de gravedad, a cuya determinación se llega por los valores y posiciones relativas de los c.g. de sus componentes que han de incluir:

- a) El peso del buque en el estado en que se va a encontrar - en ese momento.
- b) Los pesos extraños al buque, pero que se encontrarán en él, como pueden ser los andamios, herramientas, otros equipos, puntales de refuerzo, elementos auxiliares de construcción y el personal que permanecerá a bordo.
- c) Los lastres con que se haya decidido llenar los tanques para mejorar las condiciones de lanzamiento.
- d) El peso completo de la cuna de lanzamiento.

El estado de pesos del buque dependerá del grado de terminación con que se vaya a lanzar, siendo la tendencia moderna de hacerlo en un estado muy avanzado de construcción, con gran parte de la maquinaria auxiliar montada y, si es posible, con gran parte del equipo propulsor, o por lo menos con las piezas más pesadas del mismo.

Por el análisis de los resultados del cálculo sabremos si el lanzamiento se puede efectuar sin peligro alguno o si tenemos que introducir modificaciones en los pesos y en sus distribuciones eliminando máquinas, equipos y seleccionando la

disposición de los lastres para llegar a un nuevo estado de pesos con el que hemos de repetir los cálculos hasta que los resultados sean satisfactorios.

Otras consideraciones fundamentales por las que hemos de de terminar el estado de los pesos en el momento del lanzamien to son: la carga que puede soportar la grada, los valores - máximos admisibles en la reacción durante el giro y la pre sión aceptable sobre la grasa que se utiliza para facilitar el deslizamiento entre imadas y anguilas.

2. SUPERFICIE DE LANZAMIENTO .

Es la superficie de las imadas sobre la cual se va a efec tuar el deslizamiento.

Generalmente es un plano inclinado con una pendiente que con viene que sea lo más reducida posible para evitar la altura excesiva de la proa del buque, pero que, por otro lado, ha de superar un valor mínimo determinado por la componente tan gencial del peso que ha de superar a la fuerza de rozamien- to en el arranque para que el lanzamiento pueda realizarse.

Una pendiente muy pequeña requerirá una mayor longitud de antegrada de apoyo del buque antes de que éste alcance la flotabilidad suficiente para que no se produzca la arfada. Por otra parte, con pendientes reducidas, el buque toma menor velocidad y ocurren casos en que se funden las grasas que se utilizan por el calor de la fricción y las expulsa la teralmente, llegando al rozamiento de madera con madera, o- riginando una elevación considerable del coeficiente de ro- zamiento, lo que produce la detención del buque sin terminar su recorrido, ocasionando graves problemas que se acentúan al descender la marea. Para obtener una mayor pendiente en esta zona y reducir la longitud de la antegrada sin elevar demasiado la proa del buque, se ha recurrido a imadas con -

superficie cilíndrica de gran radio de curvatura, entre 12.000 y 22.000 mt. La forma a de ser cilíndrica para lograr el perfecto acoplamiento de imadas y anguilas en todo el recorrido y la deflexión máxima entre arco y cuerda se llama la "brusca de imadas". De este modo, la pendiente inicial irá aumentando hasta el extremo de la antegrada.

Con esta curvatura de las imadas, la quilla del buque en los soportes de proa quedará a mayor altura sobre la superficie de deslizamiento que con imadas planas, quedando por tanto a mayor distancia de la solera de la grada durante el giro, pero cayendo también de mayor altura, si llegando apoyado al extremo de la antegrada, hay todavía una reacción, produciéndose un saludo más acentuado.

Con una misma altura y pendiente de imadas en la posición inicial del c.g. del objeto lanzado, la flotabilidad después del mismo recorrido será mayor con imadas curvadas que si son rectas. Este mayor desplazamiento reduce la reacción y la presión del extremo de popa de las imadas sobre el casco, pero en cambio aumentará la presión sobre los soportes en el giro.

Si tomamos como origen el extremo inferior de las imadas en la antegrada y la pendiente en este punto es: $a = \operatorname{tg}\theta$ (Figura N^o 7). Con imadas rectas, la ordenada en un punto de abscisa x será:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{y}{x} \quad y = x \operatorname{tg}\theta$$

$$y_r = a \cdot x$$

Con imadas cilíndricas de radio r , y la misma pendiente "a" en el origen, las coordenadas del origen respecto al centro del círculo serán:

$$x_o = \frac{r \cdot a}{\sqrt{1 + a^2}} \quad y \quad y_o = \frac{r}{\sqrt{1 + a^2}}$$

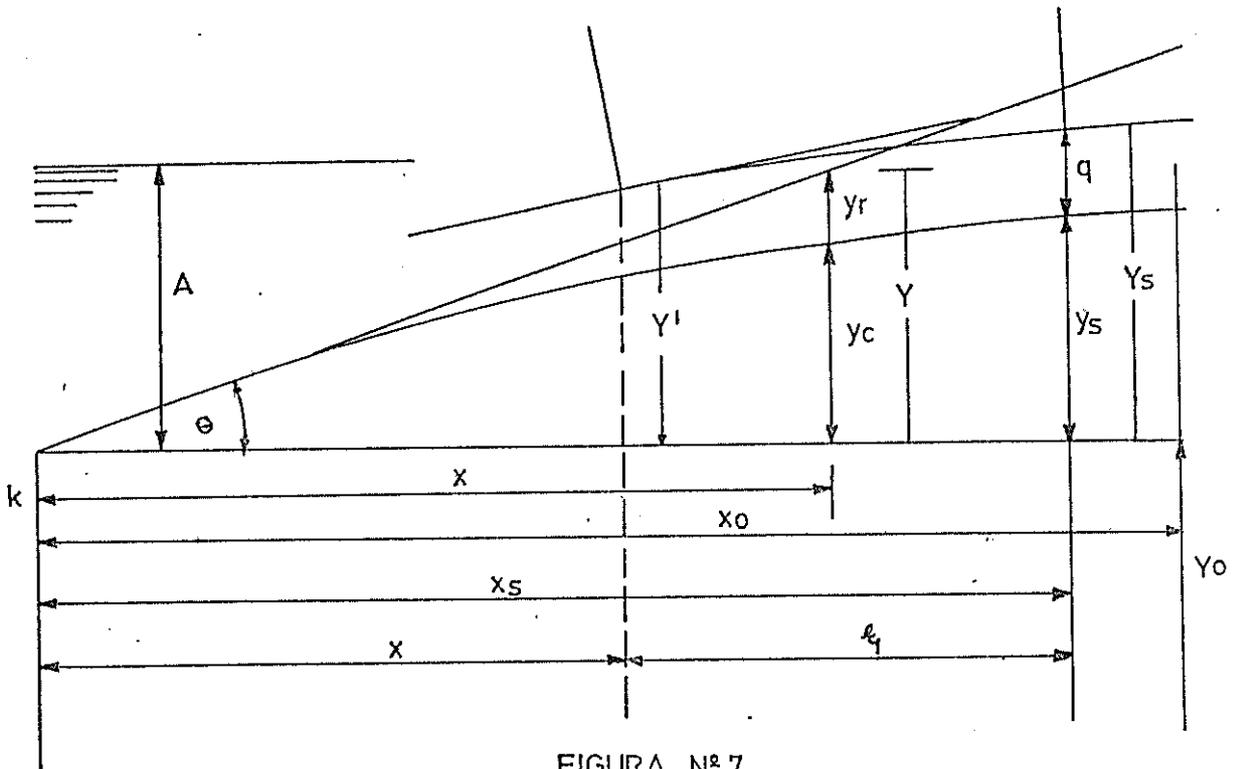


FIGURA N° 7

Si hacemos

$$K = \frac{r}{\sqrt{1+a^2}} = y_0$$

De la ecuación de la circunferencia

$$(y_c + y_0)^2 = r^2 - (x_0 - x)^2$$

deducimos que el valor de la ordenada para una abscisa x , será:

$$y_c = \sqrt{K^2 + 2 Kax - x^2} - K \quad (\text{IV-1})$$

y la pendiente en el punto correspondiente de abscisa x :

$$\frac{dy_c}{dx} = \operatorname{tg} \psi_c = \frac{Ka - x}{\sqrt{K^2 + 2 Kax - x^2}} \quad (\text{IV-2})$$

con estas fórmulas, utilizando los medios modernos de cálculo, se puede obtener con facilidad los valores de las ordenadas que definen la superficie de las imadas y las pendientes respectivas en cada punto.

Andrews sugiere para este cálculo la aplicación de la fórmula

la de un arco parabólico, que con el mismo origen citado arriba, tendría la expresión:

$$y_p = a.x - \frac{x^2}{2r} \quad (\text{IV-3})$$

cuya diferencia con la circular es muy pequeña y la fórmula resulta mucho más simple.

La pendiente en cada punto será entonces:

$$\frac{dy_p}{dx} = \text{tg } \psi_p = a - \frac{x}{r} \quad (\text{IV-4})$$

3. LA POSICION DE LA LINEA DE QUILLA

La posición de la quilla del buque en relación a la grada viene determinada en general por la distancia que se requiere para que se pueda trabajar con cierta comodidad sobre el fondo del buque, pero sin olvidar que cuanto más alta se encuentra situada mayor es la longitud por la que ha de deslizarse para alcanzar el mismo desplazamiento y que, por lo tanto necesitará una mayor longitud de antegrada.

Partiendo de esta altura media, hay que definir su pendiente que, aunque próxima a la de la superficie de lanzamiento puede tener alguna diferencia con ella.

La altura de la superficie de lanzamiento sobre el piso de la antegrada en la zona en que suele suceder el giro, es muy reducida y se limita en algunos casos, a la altura de las piezas de las imadas.

Cuando se produce el giro, como el extremo de los soportes queda algo retirado de la perpendicular de proa, el pie de la roda, extremo de proa de la quilla y particularmente la parte inferior del bulbo de proa de algunos buques, se aproximará al

suelo y la altura de la quilla en el extremo más a proa del buque debe comprobarse que durante el giro pase con amplio margen de distancia al suelo.

Si elevamos la proa, se reduce el calado a proa en el momento en que los soportes abandonan las imadas y se acentuará la profundidad del saludo, si lo hay, con el riesgo de que la proa del buque pueda golpear en el extremo de la antegrada con las imadas, antes de salir de esta zona.

Teniendo en cuenta que las anguilas han de situarse debajo del fondo, cualquier diferencia de inclinación de la quilla con la pendiente de la superficie de lanzamiento exigirá mayor altura de la cuna en un extremo, lo que en grandes buques de más de 300 mts. de eslora pueden llegar a tomar valores importantes. Por esta razón, con las correcciones mínimas impuestas por las condiciones que hemos visto, es conveniente que la pendiente de la quilla sea lo más próxima posible a la pendiente de la superficie de lanzamiento.

4. UBICACION DE LA SUPERFICIE DEL AGUA

La posición sobre el perfil en que tenemos trazada la superficie de deslizamiento, es la que determina la inmersión del casco en cada punto del recorrido que hace apoyado, pero como depende de las mareas, esta posición puede variar con el tiempo, los cálculos de lanzamiento hay que hacerlos contando con una altura determinada que se marca en la grada de forma claramente visible, condicionando el lanzamiento a que el nivel del agua sobrepase la mencionada señal.

Sirviéndose de los almanaques de mareas en los que constan las horas de pleamares y los coeficientes que definen las alturas máximas del agua, se puede programar el lanzamiento para un día y hora determinado.

También conviene tener en cuenta las siguientes considera-

raciones: En dársenas y rías, la marea influye sobre las corrientes que, si están atravesadas a la dirección del lanzamiento, pueden dar lugar a contratiempos impulsando el casco a salirse de su tren de deslizamiento antes de que el lanzamiento se haya consumado o, por lo menos, dificultando su maniobra después de que quede a flote. Estas corrientes suelen anularse en el repunte de las mareas que es el momento propicio, teniendo en cuenta además que dispondremos también del máximo nivel de agua, pero como existen ciertos factores como el viento, que pueden alterar la precisión de las mareas, tanto en hora, (puede adelantarse o retrasarse), como en la altura máxima y la complejidad de los trabajos preparatorios en la cuna puede terminarse con algún pequeño retraso, es conveniente fijar la hora y tener el buque dispuesto para su lanzamiento con alguna antelación a la pleamar, que puede ser del orden de media a una hora. De este modo siempre tendremos un margen de tiempo para resolver cualquier contingencia imprevista.

5. CALADOS DEL BUQUE A FLOTE

Tenemos que determinar con toda precisión la flotación con que el buque va a quedar después de su lanzamiento, y probablemente habrá una diferencia de calados apreciable, por lo que conviene ajustar el cálculo por aproximaciones sucesivas.

Conocido el peso y la posición del c.g. utilizando las curvas hidrostáticas podemos obtener con facilidad el calado medio, la posición del centro de carena (KB) con la flotación isocarena de calados iguales y el trimado correspondiente con el que se llega a una flotación inclinada muy próxima a la que buscamos.

En aras a una mayor exactitud, se obtiene el desplazamiento correspondiente a la flotación inclinada anterior utilizan-

do las curvas de Bonjean y se rectifica la flotación paralelamente hasta lograr el desplazamiento exacto. De modo similar se determina la posición de KB y se rectifican los calados a proa y popa hasta lograr el perfecto equilibrio de peso y desplazamiento.

Por esta flotación puede determinarse el calado que tendrá la parte inferior del extremo de proa de las anguilas con el buque a flote. Si su valor es inferior a la profundidad del agua que tenemos en el extremo de popa de la antegrada, al llegar la cuna al final de su recorrido el buque estará ya flotando. Por el contrario si es superior, caerá de proa, al abandonar su apoyo, produciéndose el "saludo". El valor estático de la caída en este caso, será la diferencia entre dicho calado y la profundidad de agua sobre el extremo de las imadas. La caída total puede estimarse por efecto dinámico como el doble de la caída estática que se ha calculado y una de las condiciones que ha de estudiarse cuidadosamente es el margen de distancia de que disponemos después de la caída, tanto debajo de la quilla como en los costados de cuna y pantoque, siendo conveniente contar por lo menos con unos 30 cms.

Definidos los calados del buque a flote debe calcularse la altura metacéntrica para determinar sus condiciones de estabilidad.

6. DESPLAZAMIENTO DURANTE EL DESLIZAMIENTO CON LA CUNA APOYADA

Conocidas las posiciones de la superficie de las imadas, de la altura de agua y de la quilla del buque, podemos determinar en cada punto del recorrido horizontal del buque "x", con referencia a su posición inicial, el calado en la perpendicular de popa a la pendiente de la quilla.

Con superficie de deslizamiento plana, la pendiente de la quilla es constante y el calado a popa H_{pp} (figura N^o 8) con

una pendiente de quilla de ángulo ψ , pendiente de deslizamiento $a = \text{tg } \theta$ y una altura del talón del codaste sobre la superficie del agua de valor "Q" en el momento inicial, se obtiene fácilmente en función del recorrido x .

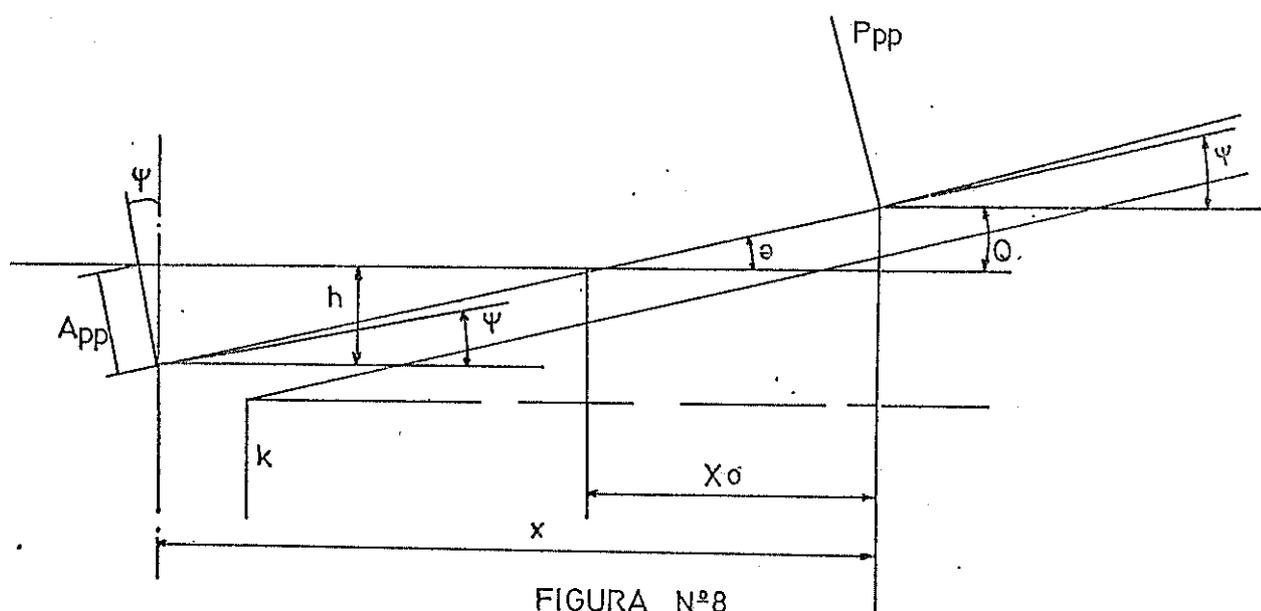


FIGURA N°8

$$\frac{Q}{x_0} = \frac{h}{x - x_0}$$

$$h = \frac{Q (x - x_0)}{x_0}$$

$$\text{Sec } \psi = \frac{H_{pp}}{h}$$

$$H_{pp} = h \cdot \text{Sec } \psi$$

Si el recorrido del talón del codaste hasta que toca el agua es x_0 tenemos:

$$\text{tg } \theta = \frac{Q}{x_0}$$

$$Q = x_0 \text{ tg } \theta = a \cdot x_0$$

Reemplazando

$$H_{pp} = \frac{Q(x-x_0)}{x_0} \cdot \text{Sec } \psi = \frac{a \cdot x_0 (x-x_0) \text{ Sec } \psi}{x_0}$$

$$H_{pp} = a (x - x_0) \text{ Sec } \psi \quad (\text{IV-5})$$

Cuando θ y ψ son iguales tendremos:

$$\text{Sec } \psi = \sqrt{1 + a^2}$$

y:

$$H_{pp} = a (x - x_0) \sqrt{1 + a^2} \quad (\text{IV-6})$$

como:

$$\sqrt{1 + a^2} \cong 1$$

$$H_{pp} = a (x - x_0) \quad (\text{IV-7})$$

Siendo L la eslora, se puede determinar el calado a proa en esta misma situación.

$$H_{pr} = H_{pp} - L \text{ tg } \psi = a (x-x_0) \text{ Sec } \psi - L \text{ tg } \psi$$

cuando θ y ψ son iguales quedará:

$$H_{pr} = a(x - x_0) \sqrt{1 + a^2} - L \cdot a = a[(x-x_0) \sqrt{1+a^2} - L] \quad (\text{IV-8})$$

y tomando

$$\sqrt{1 + a^2} \cong 1$$

$$H_{pr} = a [(x - x_0) - L] \quad (\text{IV-9})$$

Teniendo en cuenta que resultará un valor negativo cuando

$$x - x_0 < L$$

entrando con estos datos a las curvas de Bonjean se puede calcular el volumen de la parte sumergida, el desplazamiento en toneladas que corresponde según la densidad del agua y la abcisa del centro de boyantez respecto a la perpendicular de popa.

Con imadas cilíndricas (Figura N° 7) definimos la posición inicial del talón del codaste respecto al origen de ordenadas en el punto S. la ordenada:

$$y_s = q + y'_s$$

Siendo q la altura a que se ha dispuesto el talón sobre la superficie de deslizamiento y y'_s la ordenada calculada por la fórmula (IV-1).

Después de un recorrido horizontal ξ , la abcisa referida al origen $x = x'_s - \xi$, nos permite calcular la ordenada "y" así como la del talón y' y por diferencia con la altura A del agua sobre el punto k nos dará la inmersión. Con el cálculo de la inclinación de la vertical de popa podremos conocer los calados a popa y proa y obtener así mismo el desplazamiento y la abcisa del KB, respecto a la perpendicular de popa.

Al desplazamiento en cada situación del buque hay que agregarle el de la parte sumergida de la cuna. Para ello habrá que tener en cuenta que la parte de las anguilas que están apoyadas sobre la grasa no producirán empuje. De forma semejante tendremos que considerar igualmente la posición del KB de la cuna sumergida, si bien suele situarse con la misma abcisa que la del KB del buque.

7. DISPOSITIVOS DE LANZAMIENTO

7.1. Grada

Sea cual fuere el grado de terminación de los bloques y la

amplitud con que se haya aplicado la prefabricación, el montaje final de aquellos, su ensamblaje y la terminación de la estructura estanca del casco del buque ha de efectuarse en la parte del astillero especialmente destinada a ello, que ha de reunir las condiciones siguientes:

- a) Ha de facilitar la puesta a flote del buque.
- b) Su cimentación ha de ser lo suficientemente sólida para asegurar la rigidez de la estructura de apoyo de las grandes cargas que ha de soportar, no solo por el peso propio del buque, sino también por las cargas adicionales que habrá durante las pruebas hidráulicas de tanques y las presiones que se producirán durante el lanzamiento. Hay que tener en cuenta que, una vez terminada la estructura de apoyo, no es fácil aumentar su resistencia.
- c) Por supuesto, tendrá dimensiones suficientes para poder situar cómodamente en ella el buque mayor que se va a construir, a menos de tener que recurrir a soluciones excepcionales, como completar el casco en dos secciones que se unirán posteriormente en dique.
- d) Deberá disponer de medios de suspensión y maniobra de los bloques de mayores dimensiones que se vayan a montar.
- e) Es muy conveniente contar en esta zona con los servicios permanentes que se han de utilizar en la construcción, tales como las redes de energía eléctrica para herramientas, alumbrado y soldadura, aire comprimido, agua salada y dulce, etc.

Entre las gradas inclinadas para permitir el lanzamiento posterior del casco terminado, lo más común es que la pendiente

se disponga en sentido longitudinal; en ellas, el casco se monta con su plano diametral sobre la línea de máxima pendiente del plano de la grada, que está dirigida hacia el agua.

La orientación de la grada dependerá principalmente de la situación de la orilla y de la amplitud de la dársena en dirección en que se efectuará el lanzamiento, para que éste pueda llevarse a cabo con las menores dificultades. Sus dimensiones dependerán de las del buque mayor que se piense construir. Una vez definida la posición de las gradas, los demás talleres y espacios se proyectarán en relación con ellas.

Durante el lanzamiento del buque se desliza apoyado hasta sumergirse lo suficiente en el agua para que pueda flotar; debido a ello, la grada ha de prolongarse por debajo de la superficie del agua hasta alcanzar la profundidad necesaria. Esta prolongación de la grada sobre la que se apoya el buque durante el lanzamiento recibe el nombre de ANTEGRADA.

7.1.1. Pendiente de la grada

El lanzamiento se produce por deslizamiento sobre un plano inclinado que ha de tener la pendiente necesaria para que se produzca dicho deslizamiento. Conseguir esta pendiente sobre estructuras adicionales para este fin sería prohibitivo, por lo que la grada ha de disponerse con una pendiente muy próxima a la mínima necesaria para el lanzamiento. Respetando esta norma, conviene reducir la pendiente al mínimo, ya que cuando mayor es ésta, la estructura necesaria para buques de gran eslora tiene que elevarse a mucha altura por proa o sumergirla debidamente por la popa a costa de obras submarinas muy caras y de disponer cierres que impidan el avance del agua durante la construcción, las gradas con pendientes pequeñas necesitan una longitud mayor de antegrada, en cambio la pendiente mayor, sufrirá esfuerzos más severos durante el giro.

Las pendientes que se suelen aplicar a las gradas oscilan entre $1/12$ y $1/25$, utilizándose las pendientes mayores en las gradas para buques de dimensiones menores, cuyo lanzamiento se efectuará con pesos también menores.

Algunas gradas se han construído con el perfil de un arco de circunferencia de gran radio (del orden de los 9.000 m.).

En cualquier caso, la pendiente de la grada implica que la proa de la misma ha de elevarse sobre el terreno, por lo que la placa de solera ha de apoyarse sobre estructuras altas, generalmente de hormigón armado, siendo lo común que se aproveche el espacio cerrado que queda disponible debajo de ella para situar algunos servicios de la grada, tales como centrales de compresores, pañoles de herramientas, utillaje y otros accesorios e incluso vestuarios y servicios.

7.1.2. Apoyo del Buque

El buque se apoya sobre la grada por medio de grandes piezas de madera resistente que se apilan en castilletes transversales, convenientemente arriostros en sentido longitudinal para impedir toda posibilidad de vuelco, que reciben el nombre de picaderos (Figura N^o 9) y que se alinean por lo general bajo la quilla. Lateralmente se montan otras piezas de madera o almohadones que distribuyen el peso del buque en el sentido de la manga y cuya disposición ha de estudiarse cuidadosamente para que el apoyo se produzca en zonas del casco debidamente reforzadas para evitar toda deformación. Lateralmente a los picaderos de quilla se montarán también los de la cuna de lanzamiento, cuya separación oscila entre $1/2$ y $1/3$ de la manga del buque. La parte central de la grada sobre la que han de montarse estos picaderos será especialmente rígida y resistente; de ello dependerá el peso máximo que podremos cargar y habrá que considerar muy particularmente las presiones que han de soportar, sin deformarse, en la zona de giro, que pueden llegar a valores muy elevados.

Debido a ello, sobre terrenos que no sean rocosos, la cimentación tiene que efectuarse sobre costosas filas de pilotes.

Como el buque ha de quedar a cierta altura sobre la solera de la grada para que se pueda trabajar sobre el fondo, la cantidad de madera necesaria para los picaderos se llega a hacer considerable y, aunque se aprovecha en construcciones sucesivas, siempre hay que reponer la que se deteriora, máximo si se tienen en cuenta las cargas tan fuertes a que van a estar sometidos. Para reducir el consumo de madera, la tendencia actual es la de disponer sobre la solera de la grada, grandes bancos paralelepípedicos de hormigón armado que servirán de apoyo a los picaderos de quilla y a los de las imadas del tren de lanzamiento. Entre estos bancos hay que dejar los espacios suficientes para permitir el acceso y, al construirlos, deberá preverse igualmente el anclaje de las retenidas de lanzamiento y el espacio necesario para su montaje. (Figura N° 9).

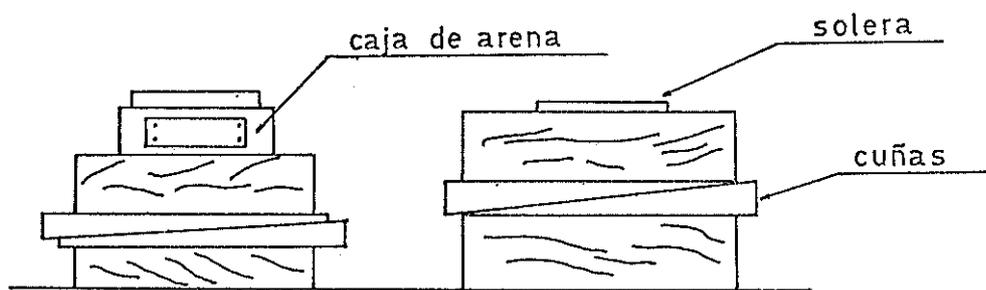


FIGURA N°9

7.2. DISPOSITIVOS TEMPORALES

El conjunto de los dispositivos que se utilizan temporalmente para efectuar el lanzamiento han de cumplir los objetivos siguientes:

- Soportar el peso del buque y las reacciones que se originan durante la operación de lanzamiento. Primeramente tomará la carga a medida que se vayan retirando los picaderos y almohadones que han servido de apoyo durante la construcción. A continuación y durante el deslizamiento estará sometido a cargas y reacciones. En la fase final soportará la carga y la reacción que se originan durante el giro.
- Debe disponer de un medio de retención que impida el deslizamiento del buque hasta el momento en que se haya de iniciar y que pueda liberarse instantáneamente a voluntad.
- Ha de servir de superficie de deslizamiento.
- Debe tener medios de guía para evitar que se desvíe lateralmente perdiendo la superficie de apoyo.

A continuación describimos los principales elementos:

7.2.1. Zapata

Un dispositivo elemental consiste en una "zapata" que se coloca directamente, o con la interposición de tacos de madera, debajo de la quilla. Esta pieza única es central y forma el patín de deslizamiento.

La estabilidad transversal se obtiene por la anchura de la zapata, asegurándola por medio de leves patines que suelen ser colocados debajo de las falsas quillas, en correspondencia con correderas fijas sobre las que no llegan a apoyarse - más que en casos extremos, y que reciben el nombre de "almohadas muertas".

La zapata se construye con piezas macizas de madera de gran resistencia a la compresión, que se empernan transversalmente hasta lograr la anchura deseada que vendrá determinada por

la presión media a lograr, si la presión resultante fuera - muy reducida, se puede variar la zapata en la parte central, reduciendo así la superficie de apoyo (Figura N° 10).

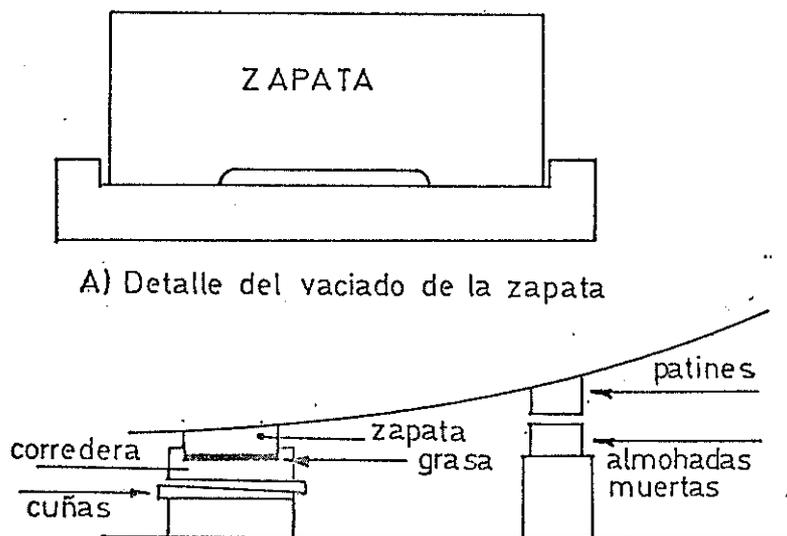


FIGURA N°10

Para mantener la zapata sobre el casco se utilizan los angulares de la figura N° 11, que requieren una entrada a dique, para su posterior eliminación, o unas abrazaderas de cable (Figura N° 12) que llegan hasta la cubierta donde se trincan y que están dispuestas en planos transversales, que simplifica la eliminación de la zapata después del lanzamiento y puede efectuarse a flote.

Utilizando este dispositivo de lanzamiento, el mecanismo de retención final o "llave" con cuyo disparo se inicia el deslizamiento se sitúa en la pieza de proa de la zapata, por lo que antes de este momento, el propio peso del buque y su tendencia a deslizarse estará provocando una fuerza de tracción entre las distintas piezas de la zapata, por lo que estas han de ligarse entre sí, además esta pieza ha de soportar la resultante durante el giro, por lo que ha de ser especialmente resistente y su parte inferior se redondea en el extremo para evitar el pivotamiento sobre una arista.

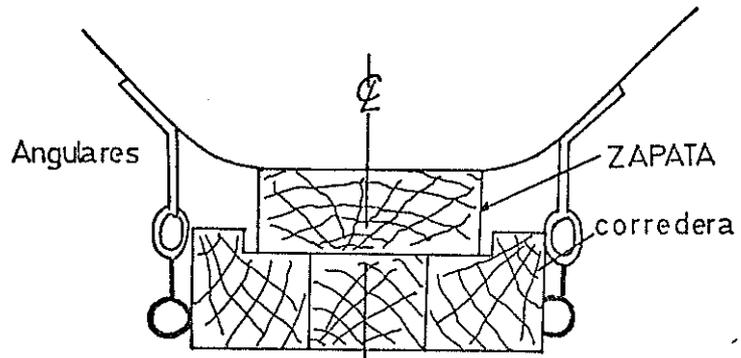


FIGURA N°11

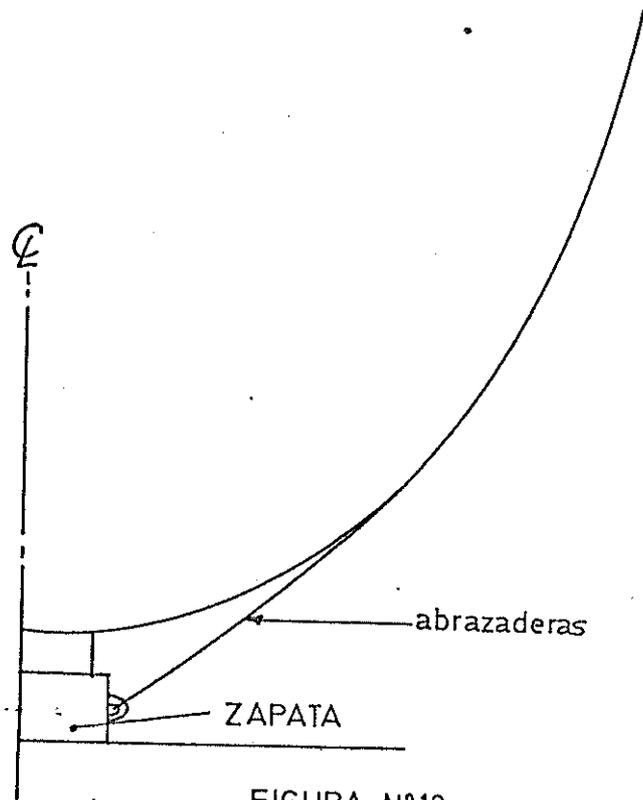
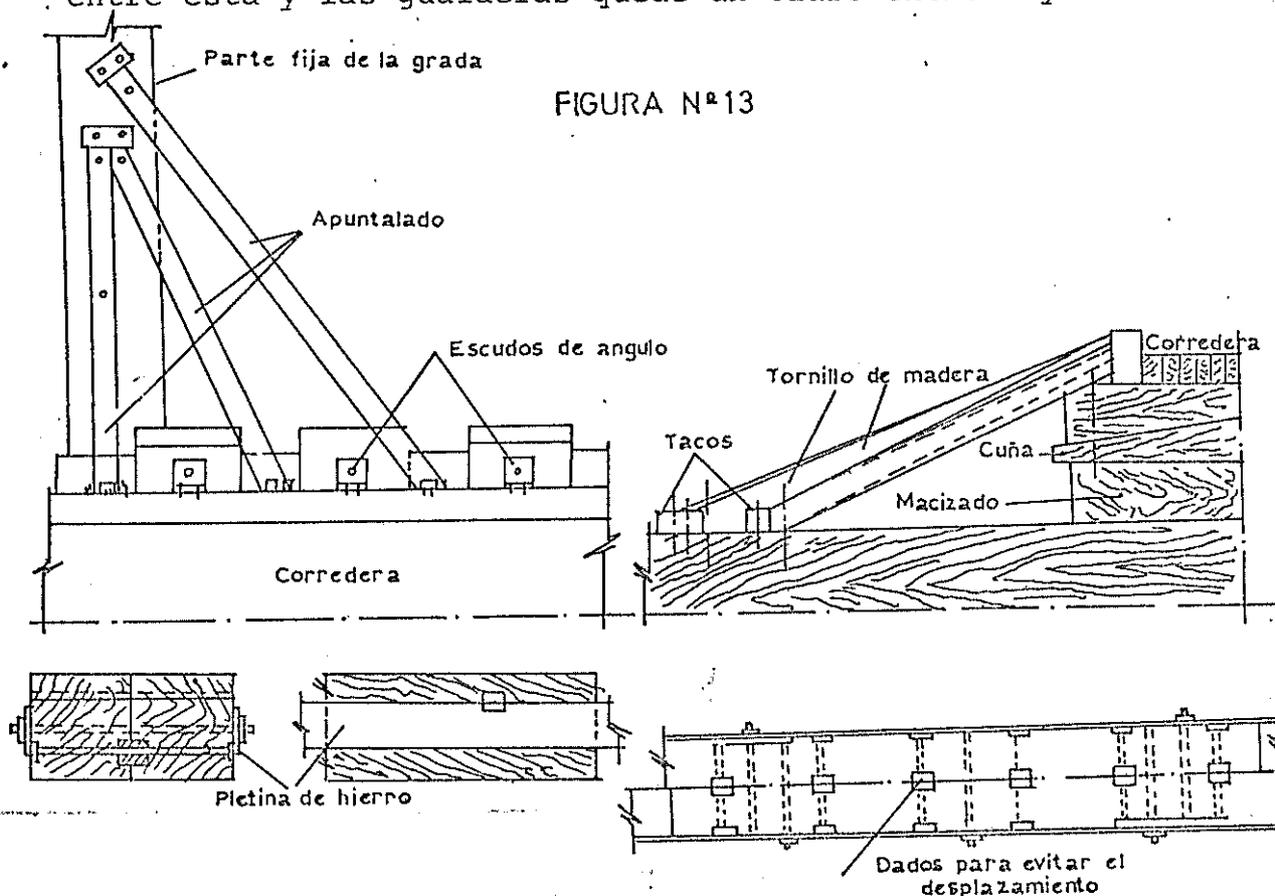


FIGURA N°12

7.2.2. Corredera

Es la parte fija de la superficie de deslizamiento que se forma con piezas macizas apoyadas sobre picaderos con la interposición de pares de cuñas de poco ángulo que se denomina "lenguetas" con cuyo ajuste se le obliga a tomar la carga con que se distribuye el peso del buque. (Figura N° 13).

Transversalmente se constituyen, al igual que las zapatas, con varias piezas, de las cuales las exteriores son más altas, sobresaliendo unos 5 cm. sobre las superficies de deslizamiento para formar las "gualderas" cuya misión es de servir de guía lateral a la zapata, evitando al mismo tiempo que la grasa escape por la presión. La anchura de la corredera viene determinada por la de la zapata, de forma que entre ésta y las gualderas quede un claro entre 3 y 5 cm.



A mayor peso del buque, se precisan zapatas y correderas más anchas para mantener la presión media dentro de lo admisible.

Esto da lugar a que se tengan que unir transversalmente muchas piezas con el peligro de que la superficie de deslizamiento se arquee transversalmente por efecto del ajuste, por lo que prácticamente este dispositivo está limitado a buques de poco peso.

Longitudinalmente se suelen utilizar piezas de dos longitudes: Unas mayores y otras pequeñas, de 1 m. aproximadamente de longitud, intercaladas con las anteriores. Las correderas grandes se colocan algunos días antes del lanzamiento, mientras que la zapata queda todavía apoyada sobre picaderos situados en el lugar que han de ocupar las correderas pequeñas.

El día del lanzamiento se ajustan las lenguetas de las correderas grandes, haciéndolas tomar la carga antes de retirar los picaderos que han de reemplazarse por las correderas pequeñas, con excepción de algunos que se dejan ayudando a la retención. El ajuste entre correderas grandes y pequeñas se consigue mediante piezas en forma de cuña, de menor altura para evitar cualquier saliente. Esto reduce el claro entre correderas uniendo todos los elementos del plano de deslizamiento (Figura N^o 14).

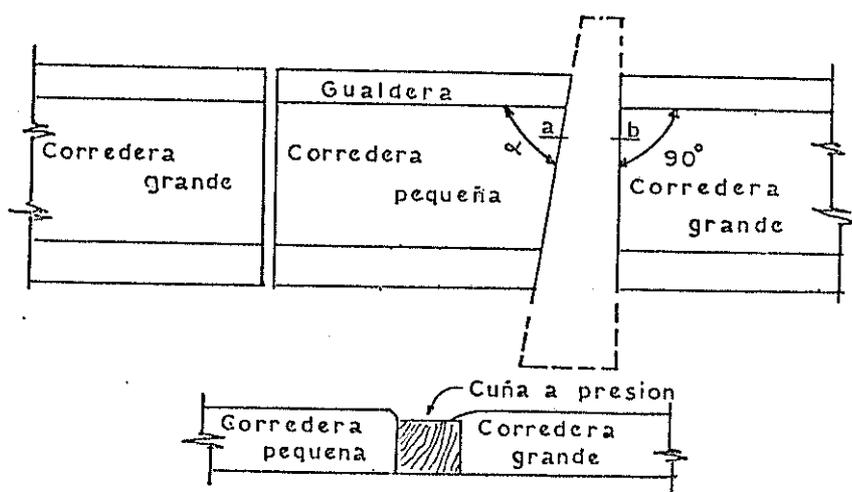


FIGURA N^o 14

Una vez terminado el montaje de la corredera, hay que asegurarse de que constituye una superficie continua para el deslizamiento sin resalte alguno y con la mínima separación entre piezas para evitar que la grasa pueda escapar bajo presión.

Para eliminar todo riesgo de atasco del tren de lanzamiento, la arista de proa de cada pieza de la corredera, los extremos de proa de las gualderas y la parte inferior de popa de cada pieza de zapata deben redondearse, eliminando las aristas vivas.

7.2.3. Cuna de Lanzamiento

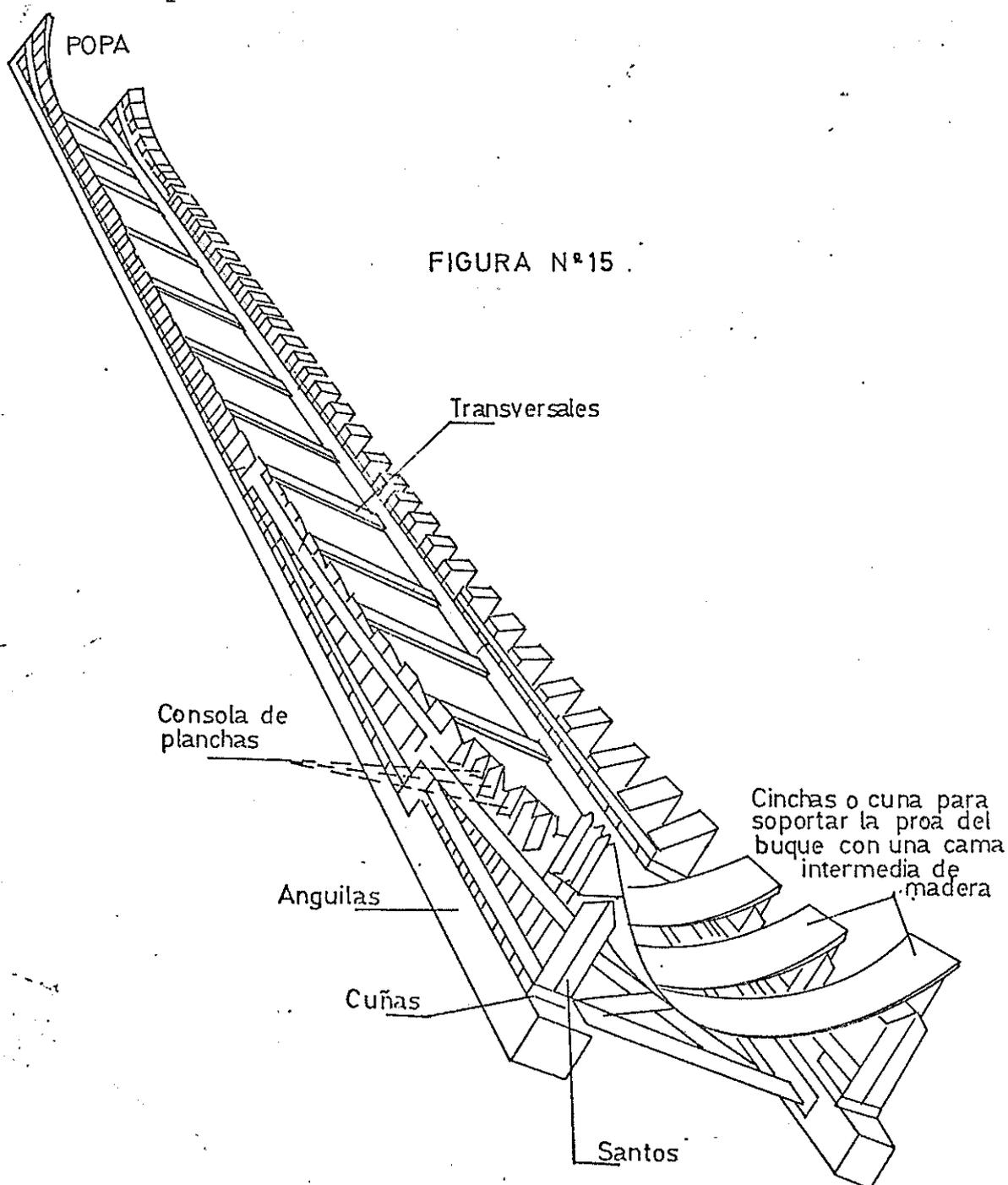
Actualmente la cuna de lanzamiento es la que se utiliza de forma casi exclusiva para buques de cierta importancia. En general, es apropiada para lanzamientos con poca pendiente y en los que se desea tener presiones medias reducidas. Proporciona mayor estabilidad transversal y para buques grandes se hace indispensable cuando no se puede recurrir a una tercera o incluso a una cuarta imada.

Consiste en una estructura de madera adaptada a las formas del buque que queda apoyado en ella. La cuna termina descansando sobre dos piezas longitudinales cuya cara inferior está toda ella en un plano (o en una superficie cilíndrica si las imadas se disponen con brusca), que son las anguilas, o piezas deslizantes que solidarias al buque, resbalarán sobre las imadas (Figura N° 15).

La cuna tiene por objeto el apoyo uniforme del buque sobre las anguilas y está formada por una serie de piezas de madera adaptadas a la forma del casco. En el cuerpo cilíndrico estas piezas son relativamente pequeñas, pero a medida que nos acercamos a los finos del casco, estando las anguilas en un plano, las piezas de apoyo han de ser más altas, for-

mando en los extremos de proa y popa verdaderas torres de pilares de madera que se denominan soportes, en algunos sitios se conocen como "gigantones" o "Santos".

Todas estas piezas apoyan sobre las anguilas con la interposición de pares de cuñas de madera, muy finas, con cuyo ajuste hay que tomar el peso del buque antes de quitar los picaderos y almohadones utilizados durante la construcción.



Las dos mitades en que queda dividida la cuna han de ligarse transversalmente por medio de tirantes y concretos que las hace solidarias. El peso total de la cuna resulta mayor que el de una zapata.

7.2.4. Anguilas

Las anguilas suelen disponerse con una separación de $1/3$ de la manga máxima, siendo conveniente que se sitúen debajo de mamparos, vagras o partes reforzadas de la estructura del casco. Su longitud varía de unos casos a otros y suelen ser del orden del 80% de la eslora, teniendo especial importancia estudiar la estructura que apoya sobre los santos de proa donde va a cargar la presión en el giro.

Las anguilas se construyen de varias piezas macizas hasta darles la anchura necesaria para conseguir la presión media prevista. Estas piezas se empernan sólidamente entre sí y el corte de sus topes se dá de forma escalonada.

7.2.5. Calzos

Los calzos que se ajustan a la carena se construyen de madera resistente. Cuando la cara de ajuste es inclinada, hay que fijarlos al casco con casquillos soldados.

7.2.6. Santos o Soportes

Se construyen de piezas macizas sólidamente empernadas y ajustadas entre sí. Se disponen verticalmente en el plano de las cuadernas y cuando las formas son finas se les da una inclinación acercándose al diametral en la parte superior, con el fin de reducir su altura.

Para impedir el desplazamiento transversal del pie de los santos se sujetan en su parte inferior por medio de espigas

en una mortaja dispuesta sobre una pieza longitudinal. A veces se clavan sobre los tirantes transversales de la cuna, cuya importancia en esta zona es mucho mayor por efecto de la presión durante el giro que tiende a separar las anguilas. La estructura ha de dimensionarse de acuerdo con las cargas como se verá posteriormente. (Figura N^o 16).

Para evitar la posibilidad de pandeo de los pilares que forman los santos y la de vuelco de los mismos, deben sujetarse longitudinalmente con platinas y darles varios puntos de fijación al casco por medio de tirantes.

La parte alta de los santos, especialmente sobre formas finas de proa han de sujetarse al casco, lo que se consigue mediante consolas soldadas al forro o con el empleo de fajas de acero, sobre las que apoya el casco con la interposición de calzos de madera.

La unión entre las dos partes de la cuna se realiza de forma

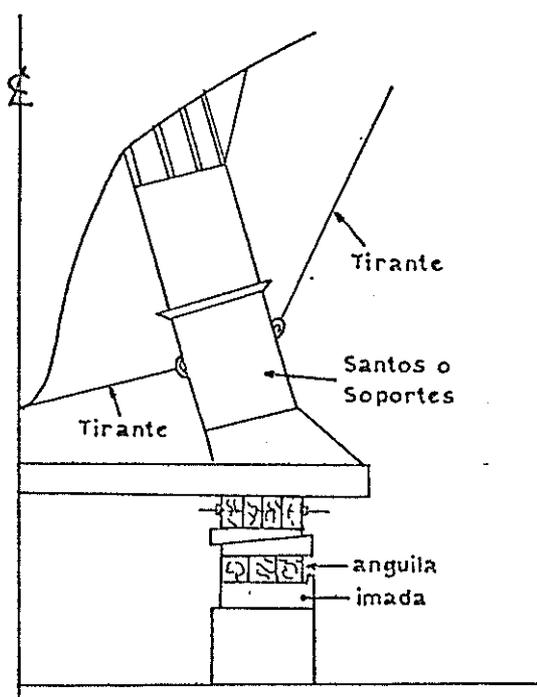


FIGURA N^o16

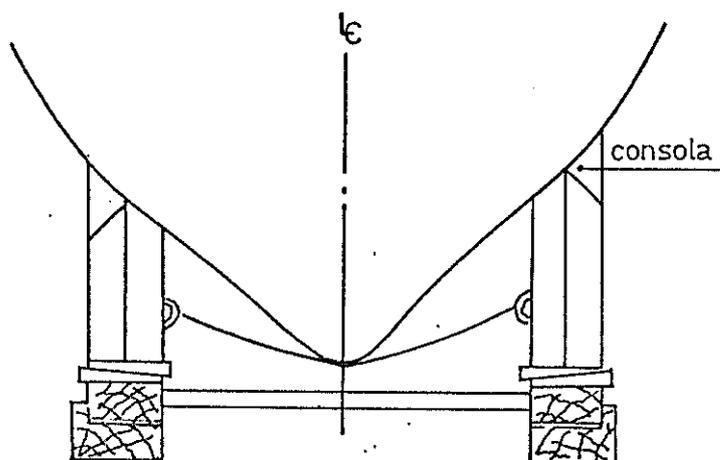


FIGURA N° 17

que se mantengan equidistantes en todo momento. Los elementos de unión son, como hemos dicho, los tirantes que trabajan a tracción y que pueden ser construídos de barras de acero, cadenas o cables y los concretos que trabajan a compresión y pueden estar constituídos por puntales de madera resistente. (Figura N° 17).

La cuna puede fijarse al casco con tirantes firmes a argollas soldadas o por medio de cables más largos que se trincañ en la regala y se liberan después del lanzamiento para desmontar y extraer la cuna sin necesidad de esperar a la entrada en dique.

En este último caso quedan solamente sobre el casco las consolas soldadas de fijación de los santos que habrá que eliminar en dique.

7.2.7. Imadas

Las imadas forman la superficie fija sobre la que deslizan las anguilas. Se construyen de varias piezas macizas de madera resistente, terminadas lateralmente con otra pieza de mayor altura que forma la gualdera, que sirve de guía a las anguilas impidiendo que se salgan de la superficie de apoyo;

con la diferencia de que, por ser dos imadas, basta con que tengan una gualdera cada una, en lugar de las dos que necesitaba la corredera.

Todas las piezas van sólidamente empernadas entre sí formando una sola superficie y se apoyan sobre picaderos o sobre bloques de hormigón dispuestos ya de antemano para este fin, con el consiguiente ahorro de madera. Si van sobre picaderos, las imadas deben trincarse a los picaderos con tornillos de cabeza embutida y fijarlas transversalmente con puntales inclinados o escoras constituídas por sólidas barras. Para evitar todo deslizamiento longitudinal hay que completar la fijación de las imadas con escoras inclinadas en sentido longitudinal. El montaje sobre bloques de hormigón simplifica la fijación de las imadas que se lleva a cabo sobre argollas ancladas en la masa del hormigón. Esta modalidad nos permite eludir la necesidad del macizado que hay que aplicar debajo de las imadas en la zona del giro para recibir las grandes cargas que se producen.

Las imadas que quedan en la zona de la antegrada han de poderse montar con facilidad, ya que parte de ellas, sobre todo en astilleros con poca variación de mareas, las tendrá que colocar el buzo. Para ello deben disponer de anclajes firmes en la solera de dicha zona.

Longitudinalmente, las imadas están formadas por piezas de mayor longitud posible, que actualmente no se llega a desmontar en muchos casos, debido al plazo tan breve en que se volverán a utilizar. Se exceptúan las de la antegrada que deben sacarse después del lanzamiento para secarlas y conservarlas así antes de prepararlas con las grasas para el próximo lanzamiento.

Al igual que dijimos de las zapatas, el canto superior de cada pieza debe redondearse para eludir toda posibilidad de atasco de las anguilas durante el deslizamiento.

Una vez montadas las anguilas, entre éstas y las gualderas de imadas debe dejarse un claro para evitar toda posibilidad de acuñamiento. Se acostumbra a dejar este claro creciente hacia popa desde unos 2 cm. hasta unos 5 cm., lo que permitirá también un ligero desplazamiento lateral con el que se absorbe el efecto de cualquier influencia de corriente o viento sin forzar las gualderas. Como dijimos anteriormente, si la corriente o el viento transversales a la dirección del lanzamiento tienen valores importantes se corre el riesgo de rotura de gualderas que haría peligrar la integridad del buque. (Figura N° 18).

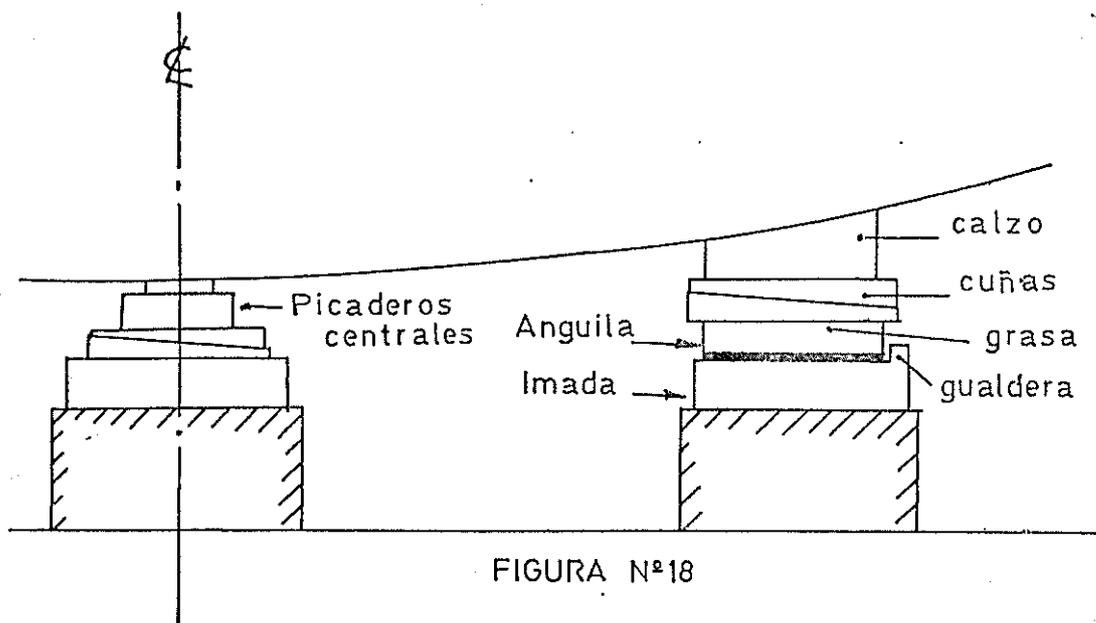


FIGURA N°18

7.2.8. Dispositivos de tres o más imadas

Con buques de grandes pesos, en los que es necesario absorber grandes cargas, se ha recurrido a utilizar tres y hasta cuatro imadas, con sus correspondientes anguilas. Con tres anguilas, una se dispone, cual una zapata, debajo de la qui

lla, quedando las otras como dos imadas. Las tres anguilas deben sujetarse entre sí para formar una cuna rígida.

A pesar de la reducción de las presiones que se logra así, hay que tener presente que es más difícil lograr una distribución uniforme de las cargas sobre las tres vías de apoyo. En algunos casos, la anguila central se limita a las partes de la estructura del casco que han de sufrir las cargas más intensas.

7.2.9. Dispositivo sobre bolas de acero

Este dispositivo se ha utilizado en el Japón. Es asimismo un dispositivo de dos imadas, aunque pueden utilizarse más. La diferencia con aquellas consiste en la interposición de bolas de acero en lugar de grasas entre la pieza deslizante y la fija. Las bolas, de unos 90 mm. de diámetro y unos 3 Kg. de peso cada una, están construídas de acero al cromo en aleación inoxidable y se mantienen en posición a determinados intervalos por medio de posicionadores o carros. (Figura N^o 19).

Al igual que se ha hecho con bolas, podría efectuarse también un lanzamiento utilizando rodillos de acero. Hay cierto tipo de varaderos que utilizan este sistema haciendo deslizar el carro apoyado sobre trenes de rodillos.

Tanto con rodillos como con bolas, no debe olvidarse que el carril superior y la imada se desplazan doble longitud que la que recorren las bolas, por lo que habrá que disponer - por la popa de las anguilas una serie de trenes de bolas o rodillos libres sobre los que irá apoyándose sucesivamente la anguila para completar su recorrido, ya que de otro modo, al avanzar las anguilas irían quedando sin apoyo alguno.

8. DISPOSITIVOS DE RETENCION

Durante su construcción, vimos que el buque reposa sobre picaderos, almohadones y escoras. El rozamiento en estos apoyos es tan elevado que, a pesar de encontrarse ya con una pendiente, no hay peligro de que deslice sobre ellos y las precauciones que hay que tomar son de ajustamiento entre picaderos para evitar su vuelco. Una vez montado el tren de lanzamiento se va transfiriendo el peso del casco a la zapata o a las anguilas que están ya preparadas con las grasas deslizantes, suprimiendo los picaderos que han servido de apoyo hasta este momento, el buque, como es lógico, toma su tendencia a deslizarse. Para impedir que esto ocurra antes del momento oportuno se utilizan diversos dispositivos de retención entre los cuales tenemos:

8.1. Picaderos Secos

Cuando se ha utilizado el sistema de zapata única, la corredera se dispone con unas interrupciones en las que posteriormente se instalarán las correderas cortas. En estos huecos quedan mientras tanto unos picaderos sobre los que apoya la zapata sin grasa alguna y que por esta razón se denominan "picaderos secos". Como el coeficiente de rozamiento directo de madera con madera es del orden de 0.25, estos picaderos, al tiempo que sirven de apoyo, impidiendo la compresión de la grasa que hay ya entre las correderas largas y la zapata, proporcionan también una retención al deslizamiento. Con unas horas de antelación al lanzamiento, se efectúa el ajuste de las lenguetas de las correderas largas, con las que estas toman su carga relajando la presión sobre los picaderos secos para facilitar su extracción. En su lugar se colocarán las correderas cortas, ya engrasadas y se completa el tren de lanzamiento con el apriete de sus lenguetas respectivas. (Ver Figura N^o 14).

Es difícil prever con exactitud el esfuerzo de retención que aportan estos picaderos secos mientras están montados. Para prever el número de ellos que es necesario en lanzamiento con zapata única, se supone arbitrariamente que el peso por unidad de eslora es uniforme y que la totalidad del peso W se distribuye sobre las longitudes de la zapata en que está apoyado. Así, si " λ " es la parte de la longitud de la zapata apoyada sobre picaderos secos y " λ_T " la longitud total de la zapata, la parte de ésta apoyada sobre correderas largas será $\lambda_T - \lambda$, las fracciones del peso que cargan serán respectivamente $W\lambda/\lambda_T$ - y $W \frac{\lambda_T - \lambda}{\lambda_T}$ sobre picaderos secos y sobre correderas y, siendo C_f' y C_f los coeficientes de rozamiento para madera seca con madera y el de las piezas ya engrasadas respectivamente, la condición de retención vendrá dada por:

$$W \frac{\lambda}{\lambda_T} C_f' \cos \theta + W \frac{\lambda_T - \lambda}{\lambda_T} C_f \cos \theta > W \text{ Sen } \theta$$

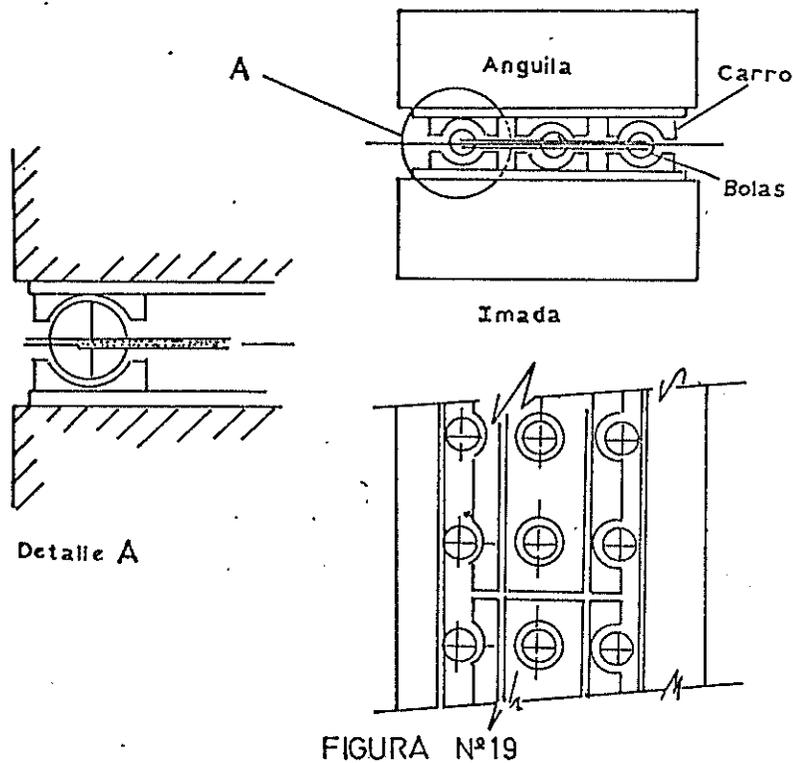
de donde

$$\frac{\lambda}{\lambda_T} > \frac{\text{tg } \theta - C_f}{C_f' - C_f} \quad (\text{IV-10})$$

Lo que nos permite calcular el valor de " λ ". Conociendo la separación entre picaderos secos podemos deducir el número de ellos que es necesario y la carga de compresión que han de soportar.

Cuando se utilizan dispositivos de dos imadas, no hay esta relación de longitud. Las anguilas y las imadas se montan en su totalidad con independencia de los picaderos que pueden seguir aplicados en la quilla sin ser obstáculo alguno para el montaje de la cuna. Sin embargo, todos los picaderos y almohadones que han de permanecer ayudando a soportar el peso del buque hasta breve tiempo antes del lanzamiento, han de poderse desmontar con rapidez y contar con dispositivos especiales para impedir que queden "clavados" bajo una car-

ga excesiva, creando dificultades en momentos críticos que se programan al minuto. (Ver Figura N^o 9).



8.2. Cajas de arena

Son cajas metálicas que se llenan de arena, que distribuyen muy bien la carga y sobre la que apoya una pieza de madera que ajusta en la caja paralelepípedica. La caja tiene un registro lateral cerrado con una tapa atornillada que impide que escape la arena. El picadero está normalmente ajustado y comprimido con sus cuñas, pero para liberar su carga basta con abrir el registro dejando salir la arena. Si se utilizan bajo picaderos secos en dispositivos de zapata, habrá que eliminar todo vestigio de arena que pueda introducirse en la superficie de deslizamiento. Con dos imadas, están tan separados los picaderos de las imadas que no existe este problema. (Ver Figura N^o 9).

8.3. Trinca de Zapata

El dispositivo anterior es tan solo un medio de colaborar a la retención. Cuando el buque está totalmente apoyado en

las piezas deslizantes, aunque sea por un lapso de tiempo muy breve hemos de disponer la retención total sobre un dispositivo que se pueda liberar instantáneamente. En lanzamientos sobre zapata, el medio más simple consisten en prolongar la zapata por su proa y empernarla sólidamente a una plancha anclada en la estructura de la grada. Para liberar la retención se corta la pieza de la zapata con sierra en una sección preparada al efecto. (Figura N^o 20).

Este sistema anticuado y simple, no puede aplicarse sobre trenes de dos imadas por la imposibilidad de sincronizar la liberación de las dos retenidas y las dificultades que puede ocasionar la falta de sincronismo.

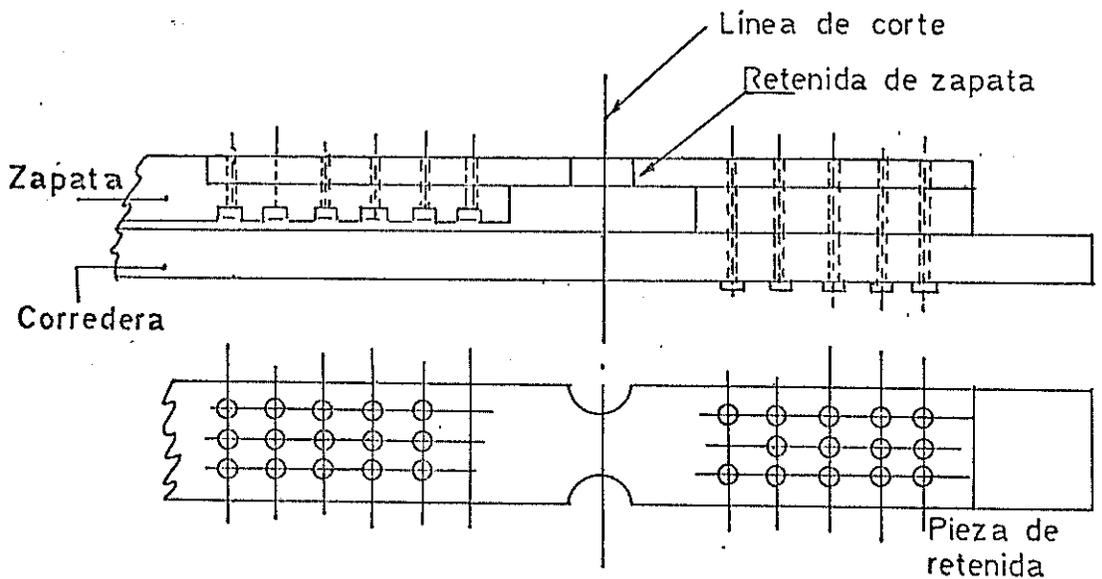


FIGURA N^o 20

8.4. Llaves y Linguetas

El nombre genérico de llaves se utiliza para una serie de mecanismos que, dispuestos convenientemente en las imadas, retienen el buque hasta el momento deseado y liberan instantáneamente dicha retención bajo la acción de un mando controlado, generalmente a distancia.

Las llaves más elementales están constituidas por concretos oblicuos que se sitúan entre topes firmes dispuestos por un lado en las imadas y, por otro, en las piezas deslizantes del tren de lanzamiento (anguilas), soportando de este modo toda tendencia del buque a deslizarse. (Figura N^o 21).

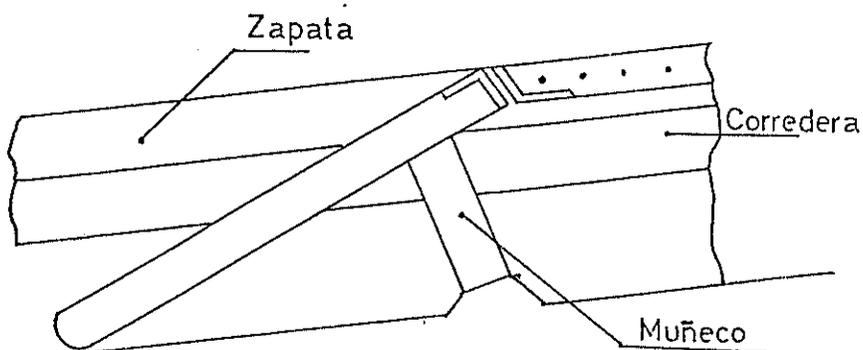


FIGURA N^o 21

Su efecto de retención se suprime en el momento deseado, zafándolos de un golpe.

En lanzamiento con imadas doble es necesario asegurar la simultaneidad en la liberación de las llaves de ambas anguilas. Una forma de conseguirlo con llaves de concreto está en prepararlo con sus mazas respectivas, de idéntica disposición y

suspendidas por aparejos cuyas tiras se conducen juntas sobre un soporte común en el que se cortarán de un solo tajo.

Las mazas han de disponerse a bastante altura para que tomen en su caída la energía suficiente que asegure el escape de la llave. Esto obliga a disponerlas en la proa; único sitio en que se dispone de espacio libre sobre la llave para poderlas situar. Estando la retención a proa, no se podrá olvidar cuanto se dijo sobre la unión entre las piezas de anguilas para resistir la tracción y evitar el peligro de que el lanzamiento se precipite; involuntariamente con las piezas restantes, por rotura de la ligazón con la primera pieza que es la que está retenida, lo que puede ocurrir alguna vez. Este peligro desaparece cuando se utilizan llaves situadas en la parte central de la longitud de las anguilas.

Un dispositivo muy seguro de retención lo constituye un linguete de escape, retenido a su vez por un émbolo hidráulico, llamado "prensa de retenida". El linguete tiene su eje de giro dispuesto horizontalmente, apoyando sobre cojinetes anclados en un armazón de acero unido sólidamente a la imada. El retén del linguete penetra en una mortaja hecha en la anguila y apoya sobre un tope de fundición. (Figura N^o 22).

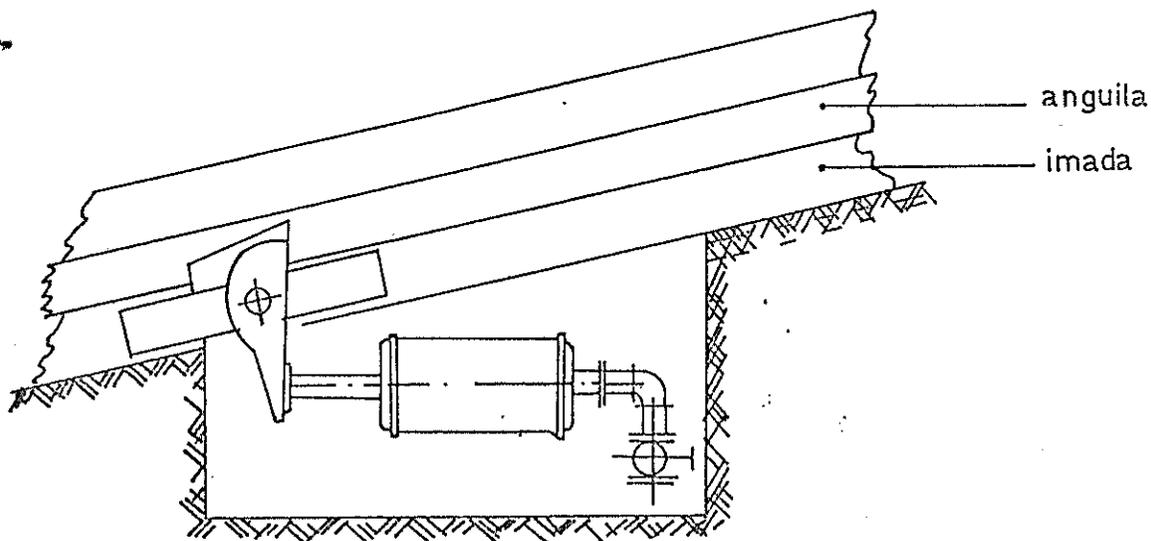


FIGURA N^o 22

El brazo inferior del linguete apoya sobre el vástago de la prensa de retenida, cuyo cilindro está lleno de aceite. La prensa está anclada sólidamente en una fosa hecha al efecto en la grada. La liberación de la retenida se consigue abriendo la válvula de evacuación del cilindro y para acelerar el vaciado se puede inyectar aire comprimido en el lado opuesto del pistón. La simultaneidad de acción de varias llaves de este tipo se obtiene uniendo sus evacuaciones en un solo tubo con una sola válvula.

Las llaves más utilizadas por su eficacia, rapidez y seguridad son los dispositivos mecánicos con disparo eléctrico. El dispositivo mecánico no es más que un juego de palancas y camones que reducen notablemente el empuje de la anguila sobre la pestaña de la primera palanca.

9. DISPOSITIVOS DE EMPUJE

Ya hemos visto que a la pendiente de la superficie de deslizamiento se le dá un valor suficiente para que el lanzamiento se produzca por gravedad. A pesar de ello, por aplastamiento de las grasas, la adherencia entre ellas podría resultar algo mayor que lo previsto y cabría que al disparar las llaves de retenida nos encontrásemos con la desagradable contrariedad de que el buque no arranque o lo haga muy lentamente.

Esta eventualidad debe preverse y para superarla se acostumbra a disponer sobre la proa de las imadas sendas prensas de empuje. Estas no son más que accionadores hidráulicos de émbolo que, firmemente anclados en la grada, están dispuestos para ejercer su fuerza sobre las cabezas de las anguilas en la dirección del movimiento.

Se trata tan sólo de vencer la resistencia existente al ini

ciar el movimiento, ya que con ello se hace descender el coeficiente de rozamiento y el lanzamiento continuaría por sí solo. La fuerza de empuje de los émbolos conviene calcularla contando con un rozamiento inicial del orden de 0.15, y deben estar conectados a una tubería común por la que han de recibir el aceite a presión para que su acción sea simultánea.

Si al disparar las llaves no se produjera el arranque, se actúa inmediatamente el accionamiento de las prensas de empuje, pero si al terminar el recorrido de los émbolos el buque sigue detenido, no es recomendable insistir en nuevas aplicaciones de las prensas con la interposición de suplementos, debiéndose investigar la causa de la retención anormal.

10. DISPOSITIVOS DE GUIA

En la primera fase del deslizamiento las gualderas sirven de guía longitudinal a las anguilas, pero una vez iniciado el giro, cualquier influencia asimétrica del agua, por una ligera corriente transversal o simplemente por efecto de una ola reflejada en un muelle muy próximo, o del viento, puede provocar una desviación angular y hacer peligrar su apoyo por salirse de la imada.

Para guiar el buque longitudinalmente en esta fase, en algún caso se han utilizado cables que se extienden en la dirección del movimiento y, firmemente anclados en los extremos, se pasan sobre la cubierta a través de gateras o guías recubiertas de madera. La libertad de los cables sobre cubierta se asegura con caballetes transversales de altura conveniente.

11. LUBRICACION DEL PLANO EN DESLIZAMIENTO

Según Morin, el rozamiento entre dos piezas de madera de fibra paralelas y recubiertas de una capa untuosa, se desarrolla con un coeficiente que puede oscilar entre 0.15 y 0.44 para iniciar el movimiento y de 0.07 a 0.16 durante el movimiento.

Con estos valores, un lanzamiento por gravedad tendría que efectuarse con pendientes excesivas de la superficie de deslizamiento, con todos los inconvenientes que esto implica.

Para poder reducir la pendiente necesaria se ha recurrido al procedimiento de recubrir las caras rozantes con una capa básica de grasa de relativa dureza, cuya misión es proporcionar sendas superficies lisas y resbaladizas, que evitan en todo momento el contacto de madera con madera y entre estas dos capas se interpone además un componente untuoso y deslizante que reduce considerablemente el valor del coeficiente de rozamiento. Los productos que se utilizan para este fin han de reunir las siguientes características:

- No deben alterarse por efecto de las condiciones atmosféricas, ni del agua del mar.
- Deben soportar sin ser rechazadas las presiones a que han de estar sometidas durante el lanzamiento, teniendo en cuenta la temperatura ambiente y el calor que se producirá por fricción.
- No deben reaccionar entre sí durante el tiempo que están en contacto; ni siquiera bajo las condiciones de presión y temperatura que se van a desarrollar.

- La capa de base deberá tener una buena adherencia con la madera sin desprenderse ni cuartearse a la temperatura ambiente.

Los productos que se han utilizado tradicionalmente en este menester han sido los sebos como capa de base y el jaboncillo como elemento untuoso, con algunas variantes que se hicieron necesarias para vencer las dificultades debidas a las temperaturas tan diferentes con que habían de emplearse. Los sebos son productos muy sensibles a la temperatura, perdiendo consistencia con el calor; cuarteándose y perdiendo adherencia con el frío. La irregularidad en las características de los sebos, a pesar de los ensayos que se realizaban para determinarlas, fueron siempre un factor de incertidumbre en los lanzamientos, algunas de las cuales llegaron a terminar en fracasos espectaculares.

Actualmente, estas dificultades están prácticamente superadas con el empleo de grasas sintéticas, derivadas del petróleo, de comportamiento mucho más uniforme en una gama de temperaturas muy amplia. La función del sebo se encomienda a una grasa de mayor consistencia denominada "basecoat", con la que se constituyen las capas de base y el jaboncillo se sustituye por otra grasa "slipcoat", más fluída, como una grasa consistente, que forma la capa deslizante interpuesta entre las dos de base.

La capa de base es de gran adherencia a la madera, mayor resistencia a la compresión que el sebo y tiene una temperatura de fusión superior a la de éste. A bajas temperaturas es más duro que el sebo y no se cuartea, manteniendo su adherencia mientras que el sebo se desprende a 0°. Como a temperaturas altas el basecoat también se mantiene más duro, su gama de temperaturas de aplicación es mucho mayor. A pesar de ello, los fabricantes suministran productos ligeramente distintos adecuados a las temperaturas del lugar en que se vayan a emplear.

En el cuadro siguiente se dan los resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas sobre bloques de ensayo de 279.3 por 609.4 mm. y de 7.9 mm. de espesor a la temperatura de 22°C.

	basecoat				sebo		
Presión aplicada K_p/cm^2	4.10	6.04	6.07	18.16	4.76	7.60	17.06
Pérdida de espesor mm.	0.79	1.19	1.19	1.38	2.0	2.77	5.55
Pérdida de peso %	0	0	0	-	0	0	22.80

Otro aspecto a considerar es la resistencia al agua de mar. En unas muestras que tuvieron sumergidas en agua de mar durante diez días después de haberles aplicado el producto de base a que nos estamos refiriendo, se comprobó que la adherencia seguía siendo completa, mientras que sobre piezas preparadas con sebo sometidas a la misma experiencia, el sebo se desprende con facilidad. Esto es de gran importancia para asegurar la permanencia de la capa de base que se aplica sobre las piezas de las imadas que han de quedar sumergidas en la antegrada.

El producto untuoso y deslizante, el slipcoat, proporciona un coeficiente de rozamiento muy bajo, especialmente en la arrancada; es muy resistente al agua de mar, y se adhiere bien a la capa de base, teniendo la suficiente consistencia para evitar el aplastamiento y su consiguiente expulsión bajo las presiones que normalmente se aplican. No se endure

ce excesivamente por el frío ni se ablanda demasiado por efecto del calor y su homogeneidad permite utilizarlo con cierta confianza. Las casas comerciales presentan varios tipos de deslizantes slipcoat con ligeras variaciones de su coeficiente de rozamiento pudiéndose elegir en cada caso el que más convenga de acuerdo con las condiciones en que se vaya a efectuar el lanzamiento.

11.1. Valores del coeficiente de rozamiento

Para un conjunto de grasas de base aplicadas sobre madera, entre las que se han interpuesto un producto deslizante de terminado, aún con productos de gran homogeneidad, los valores que toman el coeficiente de rozamiento son variables y dependen de las condiciones siguientes:

- De la naturaleza del sebo o grasa de base que se ha aplicado, creciendo en general con su dureza.
- De la temperatura a que se encuentra, decreciendo cuando ésta aumenta, dentro de ciertos límites. Si el sebo llega a ablandarse demasiado alcanza un punto en que el coeficiente de fricción empieza a aumentar considerablemente.
- De la presión específica entre las dos piezas, siendo inversamente proporcional a la raíz cuadrada de dicha presión.
- Del movimiento, sabemos que el coeficiente en el arranque, antes de iniciarse el movimiento entre las piezas fija y deslizante, es más elevado y desciende sensiblemente en cuanto la pieza deslizante se está moviendo y han quedado rotas las ligaduras de adherencia creadas por la presión estática.
- Del tiempo transcurrido desde que se aplicó la carga que origina la presión entre las piezas hasta que se inicia el movimiento, creciendo con dicho tiempo el valor del coeficiente de rozamiento de arranque, por aumentar la adherencia entre las capas de grasa.

Como muchas de estas condiciones varían a lo largo del lanzamiento, el coeficiente de rozamiento no permanece constante y su variación es semejante a la que se da en la figura N° 23 en función del recorrido. Tendremos primeramente un valor de arranque que desciende rápidamente después de iniciado el movimiento, tomando entonces un valor sensiblemente constante hasta que las condiciones de presión y temperatura le imprimen un suave descenso. Durante el giro, una presión excesiva puede provocar la expulsión de la grasa y un aumento sensible del coeficiente de rozamiento.

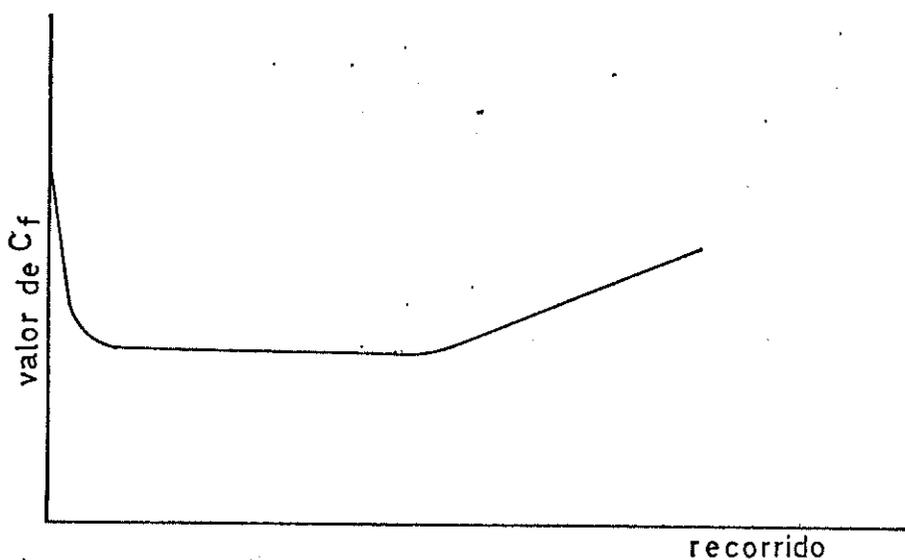


FIGURA N° 23

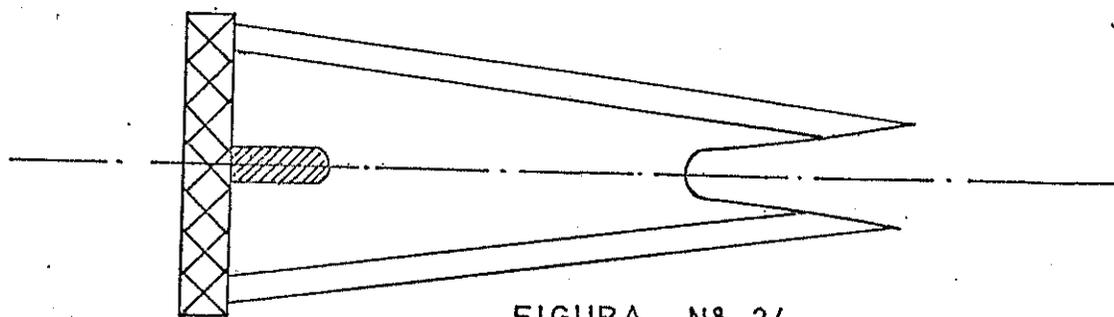


FIGURA N° 24

Para determinar los valores que se pueden aplicar al coeficiente de rozamiento, utilizamos algunas fórmulas empíricas en las que se tiene en cuenta la presión y la temperatura:

$$\text{TROGHEUX } C_f = \frac{0.05}{\sqrt{P}} \quad (\text{IV-11})$$

$$\text{CALLOU } C_f = \frac{0.07}{\sqrt{P}} \quad (\text{IV-12})$$

$$\text{KEITH } C_f = \frac{a}{(t + 100)\sqrt{P}} \quad (\text{IV-13})$$

12. DISPOSITIVOS DE FRENADO Y PARADA

Una vez a flote el buque, por efecto del lanzamiento, está animado de una velocidad que hay que neutralizar hasta que los remolcadores puedan efectuar la maniobra de conducirlo al muelle al que se ha de amarrar.

La propia resistencia hidrodinámica es un medio de frenado, pero si el espacio de que se dispone en la dársena en que se ha efectuado el lanzamiento no es muy amplio hay que acudir, a otros recursos con los que se absorbe la energía tan grande que supone la masa del buque lanzada a las velocidades que normalmente se alcanzan.

Los dispositivos empleados para este fin pueden ser de los tipos siguientes:

12.1. Anclas

Aunque en el momento de su lanzamiento, no se disponga de la planta de energía del buque, es costumbre tener preparado el o los molinetes con cadenas estibadas y anclas con el fin de poderlas fondear por gravedad en el momento oportuno. Para fondear las anclas es conveniente que el buque tenga ya muy poca velocidad. No habiendo limitación de espacio, se

espera a que esté prácticamente detenido y sólo se fondearán las anclas en caso de necesidad. Cuando el espacio está limitado hay que emplear uno o varios de los dispositivos - que veremos a continuación y las anclas se fondean al final para conseguir la detención total.

12.2. Pantallas

Un medio de aumentar la resistencia hidrodinámica de la carena con el fin de acortar el espacio requerido para su detención, ha sido el empleo de pantallas constituídas por planos transversales a la dirección del movimiento, que se sitúan en los finos de popa, firmemente trincadas, generalmente apoyadas en el codaste y apuntaladas por ambos costados. De este modo se oponen al movimiento unos planos transversales de mucha mayor resistencia que las finas formas de popa de la carena.

Su efecto no es controlable, ya que dependerá de la velocidad y será casi nulo a pequeñas velocidades. Por otra parte absorben energía cuando están sumergidas y, si se sitúan muy bajas, el efecto de frenado se iniciará cuando la cuna esté todavía apoyada, corriendo el riesgo de que su acción sea prematura y ocasione dificultades en el giro. Si, por el contrario, se colocan muy altas tardarán más en entrar en acción. Una disposición más ventajosa puede obtenerse con el empleo de pantallas trapezoidales, más anchas por la parte superior que por la inferior, o situando pantallas supletorias en los costados. (Figura N^o 24).

12.3. Rastras

Este sistema consiste en disponer a ambos costados del buque y sobre la grada, la antegrada, e incluso en el fondo, dos series de rastras constituídas por grandes pesos, generalmente, haces de cadenas, que serán arrastradas por el buque mediante cables trincados firmemente al casco y de longitudes calculadas para que el arrastre de cada una de ellas se inicie en el punto previsto del recorrido. Las rastras pueden hacerse también con bandejas cargadas de lingotes y en la parte sumergida puede aumentarse su acción con el empleo de anclas enterradas.

La rotación de frenado que proporcionan las rastras se debe al rozamiento de las mismas sobre el suelo, de forma que si el peso de la rastra es T y C_{f1} , el coeficiente de rozamiento, el esfuerzo de retención F , que proporcionará será:

$$F = T \cdot C_{f1} \quad (IV-14)$$

El cable que tira de la rastra, de resistencia mucho mayor que la tracción que ha de soportar, se trinca al casco sobre anclajes soldados y, dado que su longitud ha de permitir el recorrido del buque hasta el punto en que ha de entrar en acción, para evitar toda posibilidad de que se enrede, se dispone como se aprecia en la figura N° 25, colgado del casco mediante una serie de ligaduras de pequeñas resistencias que, siendo suficientes para soportarlo, irán rompiéndose sucesivamente a medida que el buque se desplaza y al hacerlo la última ligadura, queda ya el cable extendido y dispuesto para tomar la tensión de la rastra.

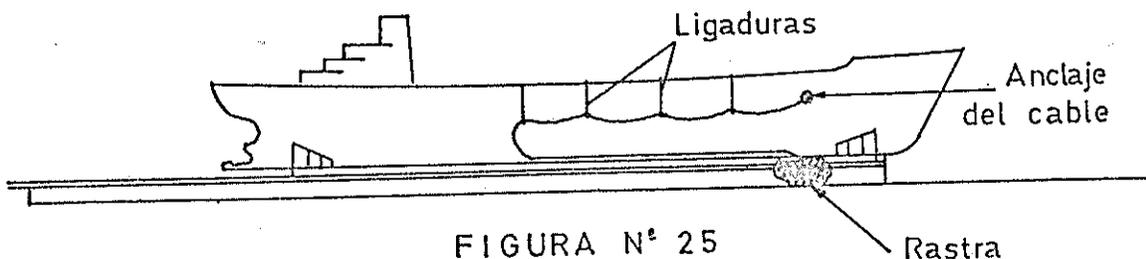


FIGURA N° 25

12.4. Rotura de Bozas

Un dispositivo muy eficaz y preciso para el frenado del buque lo constituye el sistema de cables ligados a tierra firme por una serie de bozas calibradas que se van rompiendo sucesivamente. Los cables, firmemente trincados al buque se disponen como puede verse en la Figura N^o 26.

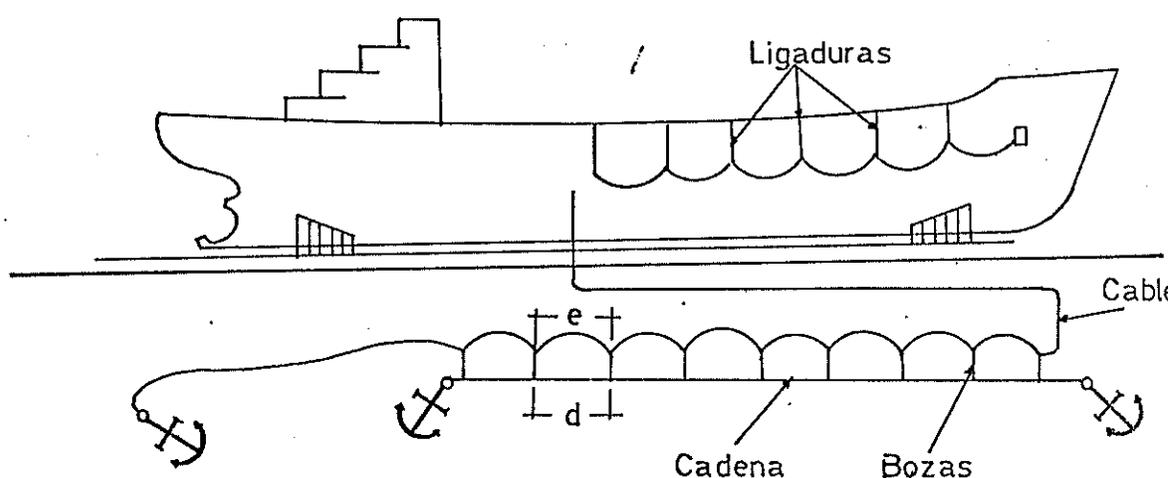


FIGURA N^o 26

El otro extremo del cable se fija a un ancla, con lo que su longitud total determina el máximo recorrido del buque. Si este cable así anclado tuviera que absorber la fuerza viva del buque, lo más probable es que se rompiera. La disipación de la energía del móvil se absorbe con el trabajo elástico del cable de retenida en aplicaciones sucesivas. Para ello estos cables conviene que sean estachas de materiales sintéticos de elevada resistencia a la rotura y gran alargamiento elástico y en cierta longitud del mismo se liga a una serie de amarras o bozas cuya carga de rotura es muy inferior a la del cable de retenida. Estas bozas, a su vez, se fijan a una cadena o cable hecho firme a tierra sobre dos anclajes empotrados en el hormigón.

Durante el recorrido del buque en su lanzamiento, al alcanzar el punto previsto, los cables entrarán en tensión retenidos por el primer par de bozas. La tensión aumenta hasta romper estas bozas, relajando seguidamente las tracciones en

los cables hasta que estos empiezan a tirar del segundo par de bozas. El fenómeno se repite así hasta llegar al último par de bozas y en cada rotura, la fuerza viva del buque disminuirá en el trabajo absorbido por el alargamiento elástico de los cables, sometidos a la carga de rotura de las bozas, y en el absorbido por estas mismas en su rotura. Las bozas tienen, pues una doble misión: Limitan el valor máximo del esfuerzo en el cable de retenida muy por debajo de su límite elástico, reduciendo el esfuerzo en los puntos de amarre a valores conocidos que no pueden producir avería alguna. En segundo lugar, al romperse, libera al cable de su tracción, permitiéndole que recupere su longitud, quedando sometido de nuevo a un alargamiento elástico por el tirón de la boza siguiente, multiplicando así el valor del trabajo absorbido en cada rotura, tantas veces como bozas se disponen.

La tensión del cable va pasando sucesivamente de un valor nulo al de la carga de rotura de la boza (P_R). Estas deben ligarse con la separación conveniente para que cada una no pueda entrar en tensión hasta que haya roto la precedente. De este modo, la tracción en el cable no excederá nunca del valor de la carga de rotura de la boza. Para ello, en el instante en que rompe una boza, la distancia que existiera entre el punto de fijación del cable a la proa del buque y la posición de la boza siguiente será menor que la longitud de cable libre, ya sin tensión, hasta dicha boza.

Si se desea que la tracción de la boza se inicie en el mismo instante en que rompe la precedente y llamamos:

P_R = Carga de rotura de la boza

A = Alargamiento del cable por efecto de la carga P_R

D = Longitud de cable hasta la boza antes de tomar la tensión.

d = Distancia entre dos bozas consecutivas

e = Longitud de cable entre sus ligaduras a dos bozas consecutivas.

Tendremos que en el momento en que rompe una boza, si la distancia del punto de fijación del cable en el buque a la boza que está rompiendo es $D + A$ y su distancia a la boza siguiente es $D + A - d$, la longitud de cable que queda libre hasta la boza siguiente será $D + e$ y la condición impuesta anteriormente vendrá dada por

$$D + A - d = D + e$$

ó sea que

$$d + e = A \quad (\text{IV-15})$$

De este modo, cada vez que se rompe una boza, el aumento en la longitud libre de cable debida a la separación entre bozas y a la que hay entre las ligaduras del cable a las mismas, se cancela exactamente con la recuperación del alargamiento por cese de la tensión. La próxima boza comienza su trabajo inmediatamente y el gráfico de fuerzas de retención vs recorrido toma la forma de dientes de sierra con el valor de la carga de rotura de las bozas en las cimas, según se aprecia en la Figura N° 27.

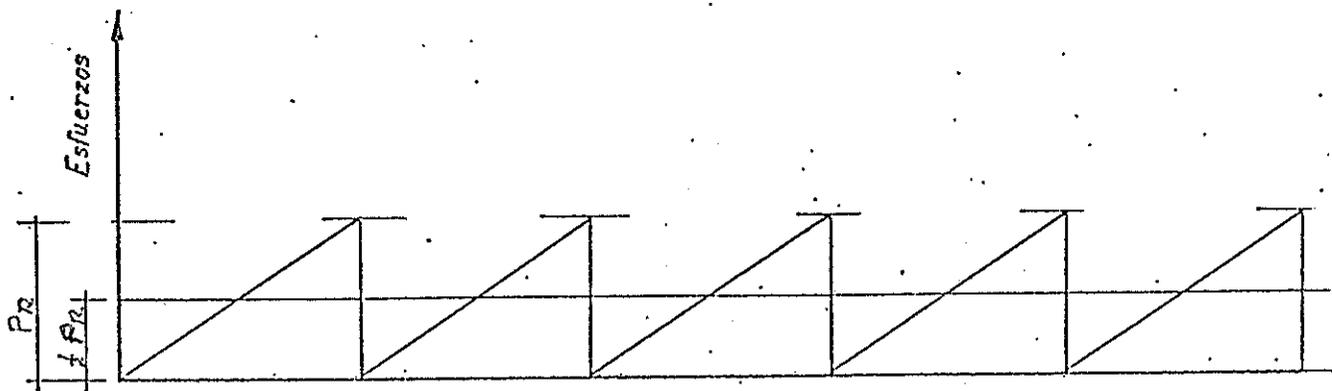


Fig 27 Recorrido

El área entre esta línea quebrada y el eje de abscisas representa el trabajo desarrollado por los cables en los sucesivos alargamientos elásticos y, por ende, la energía que ha absorbido. Con la disposición anterior de las bozas, es obvio que el área total sería la misma con una tracción - constante de $P_R/2$, con lo que se simplifica el cálculo de P_R .

b. ETAPAS DEL LANZAMIENTO LONGITUDINAL

1ª Etapa.- Condiciones para la iniciación del movimiento

En la primera etapa es importante determinar las condiciones bajo la cual el buque empieza a moverse por gravedad, las cuales pueden ser fácilmente encontradas partiendo de la ecuación diferencial del movimiento.

Considerando que el lanzamiento hacia abajo de las vías es un movimiento rectilíneo, proyectamos todas las fuerzas en la dirección de este movimiento y obtendremos

$$-\frac{W}{g} x'' + W \operatorname{sen} \beta - W \mu \cos \beta = U \quad (\text{IV-16})$$

donde:

$$x'' = \text{aceleración del movimiento de traslación} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\frac{W}{g} x'' = \text{fuerza de inercia}$$

$W \operatorname{Sen} \beta$ = proyección de la fuerza de gravedad en la dirección del movimiento.

$W \cos \beta$ = es la componente normal del peso en relación a la superficie del suelo.

$W \mu \cos \beta$ = Fuerza de fricción.

Considerando que el β es pequeño tendremos que:

$$\operatorname{Sen} \beta \approx \beta \quad \operatorname{Cos} \beta \approx 1$$

y la ecuación (1) puede reducirse a:

$$-\frac{1}{g} x'' + \beta - \mu = 0$$

$$x'' = g (\beta - \mu) \quad (\text{IV-17})$$

Al iniciar $\mu = \mu_E$ y también $\mu = \mu_D$. Después que todas las disposiciones de sujetar al buque han sido puestos en libertad,

el movimiento puede empezar por gravedad y debe cumplirse la siguiente condición:

$$\beta > \mu_E \quad (\text{IV-18})$$

Para que el buque pueda empezar a moverse por gravedad la inclinación (β) de las imadas debe ser más grande que el coeficiente de fricción estática (μ_E).

Para simplificar las deducciones es asumido que el coeficiente de fricción dinámica permanece constante durante la primera etapa, entonces la aceleración (x'') obtenida en la fórmula (IV-17) es también constante ya que el movimiento es uniformemente acelerado.

Integrando dos veces la fórmula (IV-17) obtendremos:

$$\frac{dx^2}{dt \cdot dt} = g(\beta - \mu_E)$$

$$\iint \frac{dx^2}{dt} = \iint g(\beta - \mu_D) dt$$

$$\int \frac{dx}{dt} = \int [g(\beta - \mu_D) t + x'_0] \quad (\text{IV-19})$$

$$x = g(\beta - \mu_D) \frac{t^2}{2} + x'_0 t + x_0 \quad (\text{IV-20})$$

donde:

x'_0 es la velocidad inicial y x_0 es el valor inicial de la distancia recorrida que puede ser igual a cero.

La ecuación (IV-19) indica que cuando: $\mu_D < \beta$.

El movimiento puede iniciarse si es dada la velocidad inicial x'_0 , esto puede ser hecho por medio de un pistón neumático o hidráulico.

Si el buque se empieza a mover por efecto de la gravedad, entonces $x'_0 = 0$

Haciendo también $x_0 = 0$

De la ecuación (IV-20) podemos obtener la expresión para el tiempo:

$$x = g (\beta - \mu_D) \frac{t^2}{2} + (0) t + 0$$

$$t = \sqrt{\frac{2x}{g(\beta - \mu_D)}} \quad (\text{IV-21})$$

Substituyendo la ecuación (IV-21) en la ecuación (IV-19) y haciendo $x'_0 = 0$ se obtiene

$$x' = g (\beta - \mu_D) \sqrt{\frac{2x}{g(\beta - \mu_D)}} + 0$$

$$x' = \sqrt{\frac{2xg^2 (\beta - \mu_D)^2}{g(\beta - \mu_D)}}$$

$$x' = \sqrt{2g (\beta - \mu_D) x}$$

Al terminar la primera etapa cuando el extremo de las anquilas ha alcanzado el frente de agua y el buque ha recorrido la distancia $x = x_1$, la velocidad es

$$x'_1 = \sqrt{2g (\beta - \mu_D) x_1} \quad (\text{IV-22})$$

2ª Etapa: Condiciones para la ausencia de balanceo

En la segunda etapa es importante determinar en la práctica si el balanceo está implicado en un caso específico dado. Esto puede ser fácilmente hecho considerando el equilibrio de los momentos de todas las fuerzas actuando sobre el buque alrededor de la antegrada. En la realidad el balanceo ocurre cuando el momento

de los pesos alrededor de la antegrada es mayor que el momento de presión de agua alrededor de la misma. Es necesario que los momentos mencionados giren el buque en dirección opuesta y esto es posible solamente si el centro de gravedad ha pasado la antegrada.

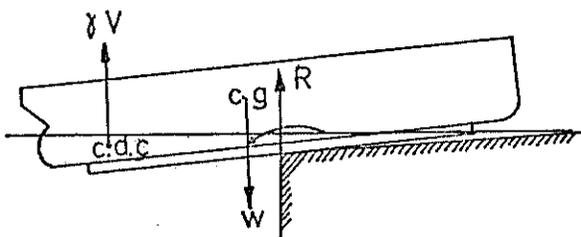


FIGURA N° 28

La presión del agua está compuesta de la boyantez y la resistencia del agua. El momento de la resistencia del agua alrededor de la antegrada puede generalmente ser descartada ya que es pequeña comparada con el momento de la boyantez y es permisible también descartar el momento de otras fuerzas actuando sobre el buque durante la segunda etapa ya que, la dirección de estas fuerzas son cercanamente horizontales y las dimensiones verticales del buque son menores que las longitudinales. Los brazos de las fuerzas horizontales pueden ser consideradas cantidades pequeñas y en lo que concierne a la determinación de las condiciones por la ausencia del balanceo pueden ser restringidas a la comparación de los momentos de peso y boyantez calculados alrededor de la antegrada.

Una vez que el balanceo empieza continuará hasta que el momento de peso y el momento de boyantez lleguen a ser iguales como una consecuencia del pivoteo y deslizamiento del buque fuera de la antegrada. Subsecuentemente debido al incremento de boyantez el buque comenzará a pivotear en el sentido opuesto y las anguilas podrán otra vez deslizarse en las vías.

Tanto la presión sobre la base como la reacción de la base en el instante en que el buque se inclina son concentrados sobre una pequeña región cerca de la antegrada. Estas fuerzas concentradas pueden causar daños al casco del buque, especialmente si esto sucede entre mamparos. Por otra parte la presión sobre la base concentrada en la antegrada puede causar un derrumbamiento de las gradas en las vías de la antegrada, además el lubricante puede ser expulsado por la acción de la presión concentrada sobre las imadas y la fricción aumentará y el buque llegará a pararse. Finalmente, si la velocidad angular es apreciable cuando el buque pivotea en el sentido opuesto, el extremo posterior de la cuna golpeará la base, ésto puede causar un derrumbamiento de la parte trasera de los arreglos del lanzamiento y daños a la roda que estará golpeando la base. Por estos motivos el balanceo es un fenómeno no deseado y algunas veces peligroso. Es por esto que se debe programar la operación de lanzamiento de tal forma que no haya balanceamiento. El lanzamiento longitudinal que no envuelve balanceo, es llamado lanzamiento normal, el cual es imposible de encontrar, por lo que es permisible aceptar que el balanceo ocurra solamente sobre una pequeña fracción del recorrido.

Derivando la expresión para el momento de la boyantez M_V y el momento del peso M_W alrededor de la antegrada, se asumirá que $\beta = \alpha$ y que estos ángulos son pequeños.

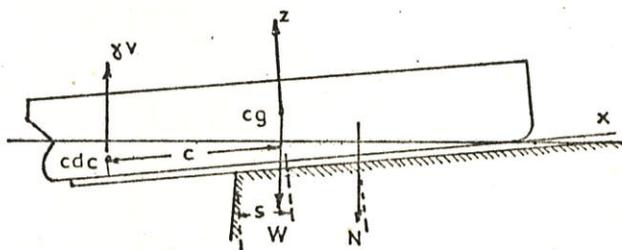


FIGURA N^o 29

De la figura N^o 29 obtenemos:

$$M_V = - \gamma V (s + c) \quad (\text{IV-23})$$

$$M_W = W \cdot s \quad (\text{IV-24})$$

donde: s = distancia desde el origen de la antegrada, que es considerado positiva hasta que el origen pase la antegrada.

, Refiriéndonos a la figura N° 30, obtenemos la siguiente relación entre y y s :

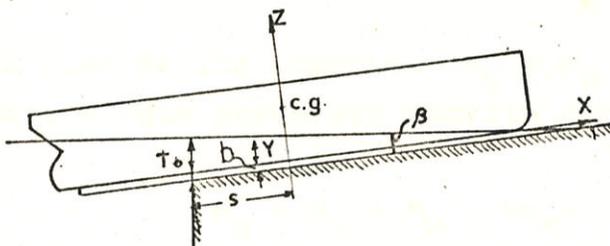


FIGURA N° 30

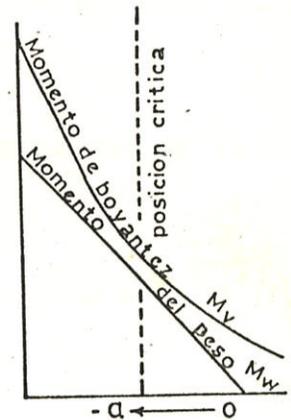


FIGURA N° 31

$$y = T_0 - b - s\beta \quad (\text{IV-25})$$

donde y = ordenada del punto de intersección del nivel del agua y el eje OZ .

$$\text{Por diferenciación tendremos: } dy = -\beta ds \quad (\text{IV-26})$$

Si los valores absolutos de M_V y M_W son graficados sobre valores de s (Figura N° 31), la relación de M_W estará representada por una línea inclinada y la relación de M_V por una curva que es convexa hacia abajo. El balanceo tiene lugar si sobre una cierta parte del viaje s (asumiendo que el buque no pivotea) el momento M_V es menor que el momento M_W , las curvas se interceptan. Si las curvas no se interceptan, hay una cierta posición del buque en la cual las distancias de separación de estas curvas es la más corta y la diferencia entre los valores absolutos de M_V y M_W es mínimo. La posición del buque correspondiente a este instante de tiempo es llamada la posición crítica, porque en esta posición ocurre balanceo o el buque está -

cercano al balanceo.

La posición crítica puede ser definida en una manera diferente, esto es, la posición a que la resultante N de las fuerzas de peso y boyantez están más cercana a la antegrada, definición que nos lleva a una complicada relación, de estas consideraciones se prefiere la primera definición de la posición crítica.

La suma de los momentos M_V y M_W es el momento de la resultante N , que puede ser escrita como M_N .

$$M_N = M_V + M_W = Ws - \gamma V(s + c) = Ns - \gamma Vc \quad (\text{IV-27})$$

donde: $N = W - \gamma V \quad (\text{IV-28})$

El momento M_N puede ser llamado momento contra balanceo cuando $M_N > 0$, y el momento de balanceo cuando $M_N < 0$. La posición crítica ocurre a un valor mínimo de M_N , en esta posición, en la ausencia de balanceo el momento contra balanceo es mínimo y en la presencia de balanceo el momento de balanceo es máximo. La condición para el mínimo es

$$\frac{d(M_N)}{ds} = 0 \quad (\text{IV-29})$$

Diferenciando la (IV-27):

$$\frac{d(M_N)}{ds} = N - \gamma s \frac{dV}{ds} - \gamma \frac{d(Vc)}{ds} = 0 \quad (\text{IV-30})$$

Las cantidades V y Vc pueden ser representadas en la siguiente forma:

$$V = \int_{-y_0}^y A_w dy$$

$$V_c = \int_{-y_0}^y A_w \cdot X_f \cdot dy$$

donde: A_w = área del plano de agua

X_f = abcisa del centroide

y_0 = valor límite más bajo de y desde que la integración comenzó a dar el volumen V .

Diferenciando con respecto a los límites superiores, se obtiene:

$$dV = A_w \cdot dy \quad (a)$$

$$d(V_c) = A_w \cdot X_f \cdot dy \quad (b)$$

Sustituyendo (IV-26) en (a) y (b) se obtiene:

$$dV = A_w (-\beta ds)$$

$$\frac{dV}{ds} = -\beta A_w \quad (IV-31)$$

$$d(V_c) = A_w X_f (-\beta ds)$$

$$\frac{d(V_c)}{ds} = -\beta A_w X_f \quad (IV-32)$$

Sustituyendo (IV-31) y (IV-32) en la ecuación (IV-30) se obtiene la ecuación crítica:

$$N - \gamma s(-\beta A_w) - \gamma(-\beta A_w X_f) = 0$$

$$N + \gamma\beta s A_w + \gamma\beta A_w X_f = 0$$

$$N + \gamma\beta A_w (s + X_f) = 0$$

$$N = -\gamma\beta A_w (s + X_f) \quad (IV-33)$$

La ecuación (IV-33) representa la condición que determina la posición crítica del buque en la segunda etapa, resolviendo

do esta ecuación para s , se obtiene la posición del buque con respecto a la antegrada en el instante en que el buque está - cercano al balanceo o cuando el balanceo tiene lugar. Esta solución no tiene una solución exacta ya que A_w , X_f y N son funciones implícitas de s , por este motivo la ecuación (IV-33) puede ser resuelta solamente por el método de la prueba y el error.

Sustituyendo (IV-33) en (IV-27) se obtiene el valor mínimo del momento.

$$(M_N)_{\min} = - \gamma A_w (s + X_f) s \beta - \gamma Vc \quad (\text{IV-34})$$

Por el signo del momento $(M_N)_{\min}$ se puede deducir si el balanceo tiene lugar.

Esta investigación realizada de la posición crítica del buque en la segunda etapa ha sido llevada a cabo por métodos puramente estáticos, lo cual ha constituido una gran simplificación del problema y solamente puede haber sido obtenido ya que fue despreciado el momento de la resistencia de agua alrededor de la antegrada y también los momentos de otras fuerzas. En la práctica, sin embargo, la solución obtenida anteriormente - puede ser considerada como suficientemente exacta.

Además del balanceo la velocidad de movimiento del buque - es de interés en la segunda etapa. Para determinar la velocidad es necesario derivar la ecuación diferencial de movimiento.

Considerando el lanzamiento hacia abajo de las vías el movimiento es rectilíneo, y proyectando todas las fuerzas en la dirección del movimiento, se obtiene:

$$- \frac{W}{g} x'' + N \operatorname{sen} \beta - \mu_D N \operatorname{cos} \beta - R_H = 0 \quad (\text{IV-35})$$

En esta ecuación, las fuerzas que han sido tomadas en con-

sideración en la ecuación (IV-16) son suplementadas por la resistencia de agua R_H y el peso W es reemplazado por la resultante del peso W y la boyantez γV .

La resistencia ofrecida por el agua a un buque que se desliza sobre las vías es completamente diferente de la resistencia de un buque cuando se está moviendo con velocidad constante. La diferencia puede ser dividida en dos partes:

1. La primera parte es de origen inercial debido al movimiento transiente, con un movimiento que envuelve aceleración.
2. En lanzamientos el volumen de la porción sumergida del buque no es constante pero es continuamente incrementada, además de esta cantidad es necesario añadir una fuerza más de origen inercial dependiente del coeficiente de la masa de agua añadida, a la resistencia ordinaria se la representa por la suma de 3 componentes:
 - a) Resistencia friccional (de origen viscoso)
 - b) Resistencia de forma o resistencia de eddy making (de origen viscoso).
 - c) Resistencia de olas (de origen gravitacional)

Además otra característica del movimiento del buque hacia abajo de las vías, es que todas las componentes de las resistencias son debidas a la porción sumergida del casco del buque que representa un cuerpo de líneas hidrodinámicas y a la porción sumergida de los arreglos de lanzamiento que representa un cuerpo de forma no hidrodinámica. En realidad es bastante complicado el estudio de la resistencia de agua en un lanzamiento, además no se ha investigado mucho este fenómeno tanto como se lo ha hecho en un buque que flota.

Se puede decir que la segunda parte es de origen no inercial

representada por la suma de las 3 componentes ordinarias de resistencia, de donde:

$$R_H = \frac{dB_S}{dt} + \lambda x'^2 \quad (\text{IV-36})$$

El primer término de la ecuación (IV-36) representa la derivada con respecto al tiempo del momentum B_S del fluido que rodea a un cuerpo sumergido en movimiento. Se puede escribir para el momentum:

$$B_S = M_S x'$$

donde:

M_S = masa añadida de agua en un movimiento rectilíneo en la distancia x , dependiente del volumen sumergido V .

Ya que V es dependiente de la distancia recorrida x , y así del tiempo t , M_S es también una función de x y t .

En conformidad con las consideraciones anteriores se puede escribir.

$$\frac{dB_S}{dt} = M_S \cdot x'' + \frac{dM_S}{dt} \cdot x' = M_S \cdot x'' + \frac{dM_S}{dt} \cdot \frac{dx}{dx} \cdot x' = M_S \cdot x'' + \frac{dM_S}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \cdot x'$$

$$\frac{dB_S}{dt} = M_S \cdot x'' + \frac{dM_S}{dx} \cdot x'^2 \quad (\text{IV-37})$$

El segundo término de la ecuación (IV-36) de origen no inercial representa la suma de 3 componentes de la resistencia ordinaria y puede ser convenientemente expresada como el producto de la velocidad lineal al cuadrado $(x')^2$ y el coeficiente λ que es una función del volumen sumergido.

Sustituyendo (IV-37) en (IV-36), se obtiene:

$$R_H = M_S + \frac{dM_S}{dx} \cdot x'^2 + \lambda x'^2 = M_S x'' + \left(\frac{dM_S}{dx} + \lambda \right) x'^2 \quad (\text{IV-38})$$

La masa añadida M_S puede ser expresada como una fracción de la masa de agua en el volumen V , que en la práctica no es una cantidad mayor que el 5%. Si M_S es expresada como fracción de la masa del buque W/g esta cantidad tiene todavía un menor porcentaje, y aquí podemos escribir.

$$M_S = K_S \cdot \frac{W}{g} \quad (\text{IV-39})$$

De datos experimentales obtenidos se puede escribir la siguiente relación:

$$\frac{dM_S}{dx} + \lambda = \frac{\rho}{2} C_S V^{2/3} \quad (\text{IV-40})$$

donde: C_S es un factor adimensional que depende de una buena parte de la forma del buque y de la porción sumergida de los arreglos de lanzamiento y debe por ello ser determinado experimentalmente en cada caso particular, como valor promedio se puede recomendar $C_S \approx 0.35$.

ρ = densidad del agua.

Sustituyendo (IV-39) y (IV-40) en (IV-38) se obtiene:

$$R_H = K_S \cdot \frac{W}{g} \cdot x'' + \frac{\rho}{2} \cdot C_S \cdot V^{2/3} \cdot x'^2 \quad (\text{IV-41})$$

Considerando que el ángulo β es pequeño y sustituyendo (IV-41) en (IV-35) se obtendrá

$$-\frac{W}{g} \cdot x'' + N\beta - \mu_D N - \left(K_S \cdot \frac{W}{g} \cdot x'' + \frac{\rho}{2} \cdot C_S \cdot V^{2/3} \cdot x'^2 \right) = 0$$

$$\frac{W}{g} \cdot x'' - N\beta + \mu_D N + K_S \cdot \frac{W}{g} \cdot x'' + \frac{\rho}{2} \cdot C_S \cdot V^{2/3} \cdot x'^2 = 0$$

$$\frac{W}{g} (1 + K_S) x'' - (\beta - \mu_D) N + \frac{\rho}{2} \cdot C_S \cdot V^{2/3} \cdot x'^2 = 0$$

dividiendo para el factor $\frac{W}{g}(1 + K_S)$ y transponiendo términos se obtendrá:

$$x'' + \frac{\rho \cdot g \cdot C_S}{2(1+K_S) W} V^{2/3} \cdot x'^2 = \frac{g(\beta - \mu_D)}{(1+K_S) W} N \quad (\text{IV-42})$$

Haciendo: $1 + K_S \approx 1$

y teniendo en cuenta que: $\rho g = \gamma$, se introduce para simplificar la siguiente notación:

$$U = \frac{\gamma \cdot C_S}{2W} V^{2/3} \quad Z = \frac{g(\beta - \mu_D)}{W} N$$

Escribiendo ahora la ecuación (IV-42) como:

$$x'' + Ux'^2 = Z \quad (\text{IV-43})$$

Donde U y Z son funciones de la distancia recorrida x que puede ser representada en forma de un diagrama como la relación de V y N versus x y puede ser calculada de las curvas Bonjeans. Por lo que la ecuación (IV-43) puede ser resuelta solamente por cuadratura.

Encontrando la primera integral de la ecuación (IV-43), se puede introducir una nueva variable.

$$x'^2 = u$$

Por diferenciación se obtiene:

$$x'' = \frac{1}{2} \frac{du}{dx}$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (IV-43) se tendrá:

$$\frac{du}{dx} + 2Uu = 2Z$$

La solución de esta ecuación es:

$$ue^{2\int_0^x Udx} = 2\int_0^x Z \cdot e^{2\int Udx} dx + G$$

La constante de integración G es determinada por las condiciones iniciales. Cuando $x = 0$ al comienzo de la segunda etapa:

$$u = (x'_1)^2$$

El valor de x'_1 puede ser calculado de la fórmula (IV-22).

Así sustituyendo $u = (x')^2$ se obtiene la expresión final para la velocidad de la segunda etapa de un lanzamiento en la forma:

$$(x')^2 = e^{-2\int_0^x Udx} \left[2\int_0^x Z \cdot e^{2\int Udx} dx + (x'_1)^2 \right] \quad (\text{IV-44})$$

Puesto que no hay datos prácticamente disponibles que nos permitirán predecir la manera en la cual el coeficiente de fricción μ_D varía en la segunda etapa, se considera que permanece inalterable durante esta etapa. La integral que aparece al lado derecho de la ecuación (IV-44) puede ser representada como:

$$\eta = 2\int_0^x Udx = \frac{\gamma \cdot C_s}{W} \int_0^x v^{2/3} dx \quad (\text{IV-45})$$

$$E = 2\int_0^x Z \cdot e^{2\int Udx} = \frac{2g(\beta - \mu_D)}{W} \int_0^x N \cdot e^\eta dx \quad (\text{IV-46})$$

El cálculo estático de lanzamiento longitudinal, envuelve la relación $V(x)$ y $N(x)$ derivada por el uso de las curvas Bonjeans. Estas relaciones hacen posible evaluar η y E en forma tabular como integrales con el límite superior variable y entonces calcular la relación entre la velocidad x' y la distancia recorrida por la fórmula:

$$x' = \sqrt{e^{-\eta} [E + (x'_1)^2]} \quad (\text{IV-47})$$

Derivando una fórmula aproximada para calcular la velocidad en la segunda etapa, tomamos la siguiente relación aproximada para V.

$$\frac{\gamma V}{W} = \left(1 - \frac{N_l}{W}\right) \left(\frac{x}{x_l}\right)^{3/2}$$

donde:

x_l = la distancia recorrida durante la segunda etapa

N_l = resultante del peso y la boyantez al final de la segunda etapa.

Sustituyendo esta igualdad en la expresión (IV-45) se obtiene:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\gamma C_s}{W} \int_0^x (V^{2/3} dx) = \frac{\gamma C_s}{W} \int_0^x \left[\frac{W}{\gamma} \left(1 - \frac{N_l}{W}\right) \left(\frac{x}{x_l}\right)^{3/2} \right]^{2/3} dx = \\ \eta &= \frac{\gamma C_s}{W} \left(\frac{W}{\gamma}\right)^{2/3} \left(1 - \frac{N_l}{W}\right)^{2/3} \int_0^x \left(\frac{x}{x_l}\right) dx = \left(\frac{\gamma}{W}\right)^{1/3} C_s \left(1 - \frac{N_l}{W}\right)^{2/3} \left(\frac{x^2}{2x_l}\right) \\ \eta &= \frac{C_s}{2} \left(1 - \frac{N_l}{W}\right)^{2/3} \frac{x^2}{x_l \sqrt{W/\gamma}} \end{aligned} \quad (\text{IV-48})$$

Tomando la siguiente relación aproximada para N.

$$N = W \cdot e^{-\eta} (1 - mx^2) \quad (\text{IV-49})$$

Esta relación satisface las siguientes condiciones inicial y límite:

(1) Para $x = 0$

$$\eta = 0 \quad \text{y} \quad N = W$$

(2) Para $x = 0$

$$\frac{d\eta}{dx} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{dN}{dx} = 0$$

(3) Para $x = x_\ell$

$$n = n_\ell; \text{ y } N = N_\ell$$

Si

$$m = \frac{1}{x_\ell^2} \left(1 - \frac{N_\ell}{W} e^{\eta_\ell} \right) \quad (\text{IV-50})$$

y

$$\eta_\ell = \frac{C_s}{2} \left(1 - \frac{N_\ell}{W} \right)^{2/3} \frac{x_\ell}{\sqrt[3]{W/\gamma}} \quad (\text{IV-51})$$

Sustituyendo (IV-49) en (IV-46) y luego en (IV-47) se obtiene:

$$E = \frac{2g(\beta - \mu_D)}{W} \int_0^x W e^{-n} (1 - mx^2) e^n dx$$

$$E = \frac{2g(\beta - \mu_D) W}{W} \left[\int_0^x dx - m \int_0^x x^2 dx \right]$$

$$E = 2g(\beta - \mu_D) \left(x - m \frac{x^3}{3} \right) = 2g(\beta - \mu_D) \left(1 - \frac{x^2}{3} \right) x$$

$$x' = \sqrt{e^{-n} 2g(\beta - \mu_D) \left(1 - \frac{m}{3} x^2 \right) x + (x'_1)^2} \quad (\text{IV-52})$$

Con el uso de la ecuación (IV-52) es posible graficar la relación aproximada entre x' y x , primero calculando n y m por las fórmulas (IV-48) y (IV-50). Haciendo $x = x_\ell$ y sustituyendo (IV-50) en (IV-52), después de la transformación se puede obtener al final de la segunda etapa:

$$x'_\ell = \sqrt{e^{-\eta_\ell} \left[2g(\beta - \mu) \left(1 - \frac{1 - \frac{N_\ell}{W} e^{\eta_\ell}}{3 x_\ell^2} x_\ell^2 \right) \right] + (x'_1)^2}$$

$$x'_\ell = \sqrt{e^{-\eta_\ell} \left\{ \frac{2}{3} g(\beta - \mu_D) \left[2 + \frac{N_\ell}{W} e^{\eta_\ell} \right] + (x'_1)^2 \right\}} \quad (\text{IV-53})$$

Donde η_x es previamente calculada por la fórmula (IV-51).

En la práctica η_x es generalmente una cantidad muy pequeña, por lo tanto $e^{\pm \eta_x}$ puede ser expandida en una serie restringiendo solo a dos términos:

$$e^{-\eta_x} = 1 - \eta_x \quad e^{\eta_x} = 1 + \eta_x$$

3ª Etapa. Elevación de la Popa

En la tercera etapa es importante determinar el punto en el cual la popa comienza a elevarse y la correspondiente magnitud de la resultante del peso y la presión de agua que es localizada en los extremos posteriores de la anguila.

La popa comienza a elevarse fuera de las vías cuando la suma de los momentos de todas las fuerzas actuando en el buque alrededor del extremo posterior de las anguilas es 0. Esta relación para los momentos suspendidos en la tercera etapa y el movimiento del buque son complejos consistiendo de rotación y traslación. De aquí la posición del buque a cada instante de tiempo es determinado por dos parámetros: la distancia recorrida por los extremos posteriores de las anguilas hacia abajo de las gradas calculando desde el punto de iniciación de la elevación de la popa y el ángulo ψ de rotación de las anguilas con respecto a la grada.

En este caso también para el balanceo, las dimensiones verticales del buque son consideradas pequeñas comparadas con las dimensiones longitudinales y desecharemos los términos conteniendo las ordenadas de los puntos de aplicación de las fuerzas actuando sobre el buque asumiendo que estos dos puntos son localizados sobre la línea de la quilla a una distancia desde el origen igual

a sus abscisas. De acuerdo con esta asunción la figura N^o 32 representa el diagrama de fuerzas actuando sobre el buque en la tercera etapa.

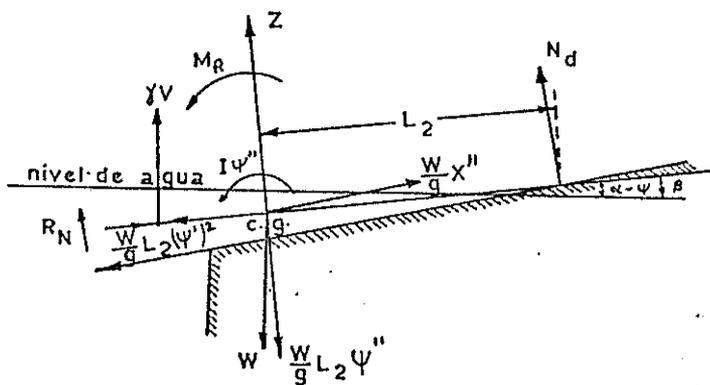


FIGURA N^o 32

Refiriéndonos a esta figura se puede escribir tres ecuaciones diferenciales del movimiento del buque. Ya que los ángulos α , β y ψ son pequeños se toman los senos iguales a los mismos ángulos y los cosenos iguales a la unidad. La resistencia del agua y el momento de la resistencia del agua son señalados por R_S , R_N y M_R respectivamente.

- 1) La proyección de todas las fuerzas en la dirección del movimiento es:

$$-\frac{W}{g} \cdot x'' + \frac{W}{g} \cdot L_2 (\psi')^2 + \frac{W}{g} \cdot L_2 (\psi + \beta - \alpha) \psi'' + W\beta - \gamma V\beta - R_S - \mu_v \cdot N_d = 0 \quad (\text{IV-54})$$

- 2) La proyección de todas las fuerzas en la dirección perpendicular a la dirección del movimiento es

$$N_d - W + \gamma V - \frac{W}{g} \cdot L_2 \cdot \psi'' + R_N + \frac{W}{g} \cdot L_2 (\psi')^2 (\psi + \beta - \alpha) = 0 \quad (\text{IV-55})$$

- 3) La suma de los momentos de todas las fuerzas alrededor del extremo posterior de las anguilas es:

$$-I_Y \psi'' + \frac{W}{g} \cdot L_2 (\psi + \beta - \alpha) x'' - \frac{W}{g} \cdot L_2^2 \psi'' - WL_2 + \gamma V(L_2 - x) - M_R = 0 \quad (\text{IV-56})$$

En estas ecuaciones:

$\frac{W}{g} \cdot x''$ y $\frac{W}{g} L_2 \psi''$ son las fuerzas de inercia aplicadas en el centro de gravedad.

$\frac{W}{g} L_2 (\psi')^2$ es la fuerza de inercia centrífuga aplicada también al centro de gravedad

$I_y \psi''$ es el momento de la fuerza de inercia.

Resolviendo la ecuación (IV-55) para N_d y rechazando los términos de alto grado se obtiene

$$N_d = W - \gamma V + \frac{W}{g} L_2 \psi'' - R_N \quad (\text{IV-57})$$

Como los ángulos α , β y ψ son pequeños, la velocidad angular ψ' y la aceleración angular ψ'' son también pequeñas. Si la ecuación (IV-57) es sustituida en (IV-54), entre los términos de la ecuación habrán 3 términos conteniendo los productos de los cuadrados de cantidades pequeñas tales como

$(\psi')^2$, $(\psi + \beta - \alpha) \psi''$ y $\mu_D \psi''$. Descartando estos términos se obtiene:

$$\begin{aligned} -\frac{W}{g} x'' + \frac{W}{g} L_2 (\psi')^2 + \frac{W}{g} L_2 (\psi + \beta - \alpha) \psi'' + W\beta - \gamma V \beta - R_S - \mu_D W + \gamma V \mu_D - \mu_D \frac{W}{g} L_2 \psi' + \mu_D R_N &= 0 \\ -\frac{W}{g} x'' + \beta (W - \gamma V) - \mu_D (W - \gamma V) - R_S + \mu_D R_N = 0; & -\frac{W}{g} x'' + (W - \gamma V) (\beta - \mu_D) - R_S + \mu_D R_N = 0 \\ -\frac{W}{g} x'' + N (\beta - \mu_D) - R_S + \mu_D R_N = 0; & \frac{W}{g} x'' - N (\beta - \mu_D) + R_S - \mu_D R_N = 0 \quad (\text{IV-58}) \end{aligned}$$

En la ecuación (IV-57) R_N depende principalmente del $(\psi')^2$

Desechando los términos dependientes de $(\psi')^2$ y ψ'' por ser cantidades pequeñas, se obtiene:

$$N_d = W - \gamma V = N \quad (\text{IV-59})$$

En la ecuación (IV-56) el momento de la resistencia de agua M_R depende principalmente de $(\psi')^2$ desechando los términos dependientes de $(\psi')^2$ por ser cantidades pequeñas se tiene:

$$\gamma W (L_2 - x) - W.L_2 = 0 \quad (\text{IV-60})$$

Después de estas transformaciones se tienen 3 ecuaciones - (IV-58), (IV-59) y (IV-60) que caracterizan el movimiento de un buque en la tercera etapa. La primera de estas es la ecuación diferencial de traslación de la cual es posible derivar las fórmulas para calcular la velocidad. La segunda ecuación da la expresión para la fuerza concentrada en el extremo posterior de la cuna, ejercida por las anguilas sobre las imadas y muestra que esta fuerza puede ser calculada de los principios de la Estática. Esta fuerza tiene un máximo valor al inicio de la tercera etapa. El mismo valor de esta fuerza N_1 llamada la presión de contrapunto que puede alcanzar un apreciable valor, $1/3$ del peso de lanzamiento W . De aquí una construcción incorrecta de la porción posterior de la cuna puede causar serios peligros a los arreglos de lanzamiento y al casco.

La tercera ecuación es la ecuación de equilibrio de los momentos y es llamada la ecuación de la elevación de la popa y muestra que el equilibrio de momentos puede también ser calculada de los principios de la Estática.

El primer término de esta ecuación representa el momento de la boyantez alrededor del extremo posterior de las anguilas

$$M_V = \gamma V (L_2 - x) \quad (\text{IV-61})$$

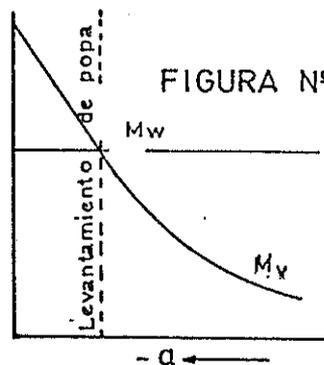
El segundo término representa el momento de peso alrededor del extremo posterior de la anguila

$$M_W = - W.L_2 \quad (\text{IV-62})$$

La suma de estos momentos da el momento de la resultante:

$$M_N = M_V + M_W = \gamma V (L_2 - x) - W.L_2 = 0$$

El momento de la resultante es 0 ya que la resultante pasa a través del extremo posterior de la anguila. En los lanzamientos longitudinales, la elevación de la popa es un fenómeno inevitable y no implica serios peligros como el fenómeno del balanceo. En el diseño de un lanzamiento es necesario intentar reducir tanto como sea posible, la presión del contrapunto y reforzar la roda del buque en la región de la transmisión de la presión del contrapunto al casco del buque, además si la roda del buque sobresale considerablemente y los arreglos de lanzamiento son bajos es necesario chequear si la parte delantera rozará en la base cuando el buque pivotea en el extremo posterior de la anguila. Si la profundidad del agua más allá de la antegrada es pequeña, es necesario chequear, si el final sumergido del buque toca el suelo cuando se encuentra sumergido más profundamente en el punto del comienzo de la elevación de la popa.



La figura N° 33 representa el momento M_V y M_W en relación a la distancia s en la segunda etapa del recorrido. El momento M_W está representado por la línea recta horizontal y el momento M_V por una curva que es convexa hacia abajo, la intersección de la línea recta y la curva corresponde a la igualdad de momento al inicio de la tercera etapa.

En el cálculo de la boyantez total γV y el momento M_V para la tercera etapa, la pérdida de boyantez sería tomada en consideración solamente para el punto de iniciación de la elevación de la popa, tan pronto como el buque rota a pequeños ángulos, las anguilas no estarán en contacto con las imadas, y la pérdida de boyantez cesará en su acción.

A partir de la ecuación del momento

$$\delta M_Y + \delta P \cdot x_P - \delta P \cdot Z_P \cdot \delta \psi = DH_O \cdot \delta \psi$$

y derivando una fórmula aproximada para la presión de contrapunto, hacemos $\delta M_Y = 0$ y despreciando $Z_P \delta \psi$ en comparación con x_P , se obtiene:

$$\delta P \cdot x_P = P_T \overline{GM} \delta \psi$$

donde:

$$\delta \psi = - (\alpha + \psi_l) \quad (\text{IV-63})$$

En nuestro caso particular la presión de contrapunto debería ser considerada como la reacción de la base con el signo opuesto, entonces se tiene:

$$\delta p = - N_l$$

$$x_P = L_2 - x_f$$

Sustituyendo en (IV-63) y resolviendo para N_l , se obtiene:

$$- N_l (L_2 - x_f) = - W H_l (\alpha + \psi_l)$$

$$N_l = \frac{W H_l}{L_2 - x_f} (\alpha + \psi_l) \quad (\text{IV-64})$$

La fórmula (IV-64) no es de gran exactitud, no obstante puede ser de valor en algún caso práctico.

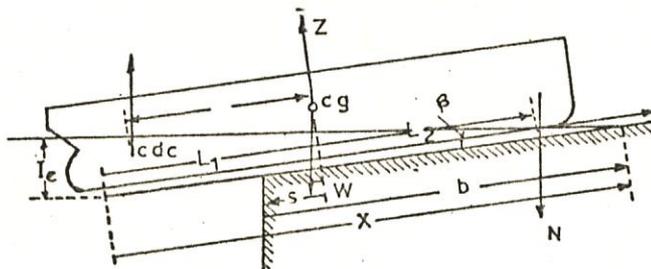


FIGURA N.º 34

Con referencia a la figura N° 34 se determina la inmersión de los extremos anteriores de las anguilas

$$I_e = (b - s + L_1)\beta \quad (\text{IV-65})$$

Para determinar la fórmula para calcular la velocidad en la tercera etapa, es necesario encontrar la primera integral de la ecuación (IV-58) que es similar en significación a la ecuación (IV-35) para la segunda etapa. La diferencia es solamente que la resistencia del agua no es expresada en la misma manera en esta ecuación.

Con un suficiente grado de seguridad podemos asumir:

$$R_s - \mu_D \cdot R_N = R_H$$

y entonces la primera integral de la ecuación (IV-58) no diferirá en ninguna manera de la primera integral de la ecuación (IV-35) obtenida anteriormente, y se puede escribir:

$$x' = \sqrt{e^{-\eta} [E + (x'_2)^2]} \quad (\text{IV-66})$$

donde η y E pueden ser evaluadas por la fórmula (IV-45) y (IV-46) siempre que el recorrido x es reconocido desde el final de la segunda etapa y donde x'_2 es la velocidad al final de la misma.

Debe tenerse en cuenta que en la evaluación de η y E para la tercera etapa, la relación $V(x)$ y $N(x)$ no pueden ser obtenidos de las curvas de Bojeans a un ángulo constante de asiento, ya que este ángulo está variando continuamente como la popa se va elevando de tal manera que se mantenga siempre la relación (IV-60).

Derivando la fórmula aproximada para calcular la velocidad en la tercera etapa, la boyantez varía mucho más lentamente que

en la segunda etapa, de aquí que, cuando evaluamos η por la fórmula (IV-45) se toma V como una constante para la tercera etapa completa e igual al valor V_2 al final de la segunda etapa.

$$V_2 \approx \frac{W - N_2}{\gamma}$$

De la fórmula (IV-45) se obtiene entonces:

$$\eta = C_s \left(1 - \frac{N_2}{W}\right)^{2/3} \frac{x}{\sqrt[3]{W/\gamma}} \quad (\text{IV-67})$$

Haciendo $x = x_3$, donde x_3 es la distancia recorrida en la tercera etapa, sino existe levantamiento, la resultante $N=0$ y $x = 0$, $N = N_2$. Estas condiciones son satisfechas por la relación aproximada

$$N = N_2 e^{-\eta} \left(1 - \frac{x}{x_3}\right) \quad (\text{IV-68})$$

ya que resulta de la fórmula (IV-67) que a $x = 0$; $\eta = 0$.

Sustituyendo (IV-68) en (IV-46) y después en (IV-66) se obtiene:

$$E = \frac{2g (\beta - \mu_D)}{W} \int_0^x N_2 e^{-\eta} \left(1 - \frac{x}{x_3}\right) e^{\eta} dx$$

$$E = \frac{2g (\beta - \mu_D) N_2}{W} \int_0^x \left(1 - \frac{x}{x_3}\right) dx$$

$$E = \frac{2g (\beta - \mu_D) N_2}{W} \left(x - \frac{x^2}{2x_3}\right)$$

$$x' = \sqrt{e^{-\eta} \left[2g (\beta - \mu_D) \frac{N_2}{W} \left(1 - \frac{x}{2x_3}\right) x + (x'_2)^2\right]} \quad (\text{IV-69})$$

Al final de la tercera etapa, cuando $x = x_d$, donde x_d es la distancia actualmente recorrida en la tercera etapa desde la

elevación de la popa al levantamiento, la velocidad es:

$$x'_d = \sqrt{e^{-\eta_d} \left[2g(\beta - \mu_D) \frac{N_l}{W} \left(1 - \frac{x_d}{2x_3} \right) x_d + (x'_2)^2 \right]} \quad (\text{IV-70})$$

En la práctica η_d es usualmente una pequeña cantidad, expandiendo en series se pueden restringir a dos términos y escribir

$$e^{\eta_d} = 1 - \eta_d$$

El recorrido x_3 es calculado por la fórmula

$$x_3 = \frac{T_2}{\beta} - x_1 + L_1 + L_2 \quad (\text{IV-71})$$

4ª Etapa. Levantamiento

En la cuarta etapa interesa la distancia del extremo posterior de las anguilas bajo el agua cuando el buque desciende y la distancia más allá de la antegrada al que es necesario asegurar la apropiada profundidad de agua, además interesa la variación de la velocidad de traslación del buque lanzado moviéndose por inercia.

Si la profundidad de agua sobre la antegrada T_0 es menor que el calado del buque lanzado en el extremo posterior de las anguilas T_2 , la cuarta etapa comienza con una caída, es decir con una inmersión repentina del extremo posterior de las anguilas juntos con el buque.

A pesar del hecho de que cuando el buque está sumergiéndose se tiene un movimiento simultáneo de traslación, el extremo de la parte sobresalida del buque del extremo posterior de las anguilas puede golpear la antegrada. Para que no haya riesgo de golpeteo, es necesario hacer un hueco (Figura N° 35) en la antegrada en los extremos de las imadas suficientes para el paso de la parte final sobresalida del buque cuando los lanzamientos

son efectuados sobre dos o más anguilas. Cuando el buque va a ser lanzado sobre una anguila no es necesaria tener una parte sobresalida al final.

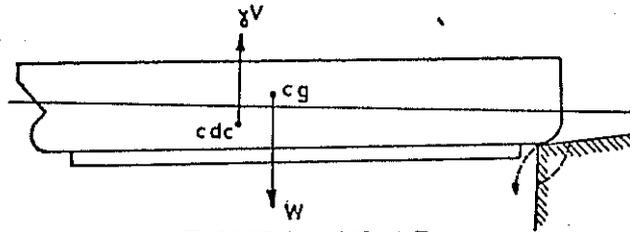


FIGURA N° 35

Durante el cuarto período el buque se mueve por inercia, por lo que la ecuación de traslación es

$$-\frac{W}{g} x'' - R_H = 0 \quad (\text{IV-72})$$

Para la determinación de la resistencia ofrecida por el agua al movimiento, en el presente caso se puede hacer uso de la fórmula (IV-38), en donde, la masa añadida M_s no depende del tiempo t , ya que el volumen sumergido V_s es una cantidad constante:

$$R_H = M_s x'' + \left(\frac{dM_s}{dx} + \lambda \right) x'^2$$

de datos experimentales

$$\frac{dM_s}{dx} + \lambda = \frac{\rho}{2} \cdot C_s \cdot (V_s)^{2/3}$$

Como $\frac{dM_s}{dx} = 0$

se tendrá: $R_H = M_s x'' + \frac{\rho}{2} C_s (V_s)^{2/3} x'^2$ (IV-73)

Sustituyendo (IV-73) en (IV-72) y resolviendo para x'' :

$$-\frac{W}{g} x'' - M_s x'' - \frac{\rho}{2} C_s (V_s)^{2/3} x'^2 = 0$$

$$\left(\frac{W}{g} + M_s \right) x'' = - \frac{\rho}{2} C_s (V_s)^{2/3} x'^2$$

$$\text{Siendo } M_s = K_s \frac{W}{g}$$

$$\left(\frac{W}{g} + K_s \frac{W}{g} \right) x'' = - \frac{\rho}{2} C_s (\nabla_s)^{2/3} x'^2$$

$$\frac{W}{g} (1 + K_s) x'' = - \frac{\rho}{2} C_s (\nabla_s)^{2/3} x'^2$$

$$x'' = - \frac{\rho g C_s \nabla_s^{2/3}}{2 (1 + K_s) W} x'^2 \quad (\text{IV-74})$$

$$\text{En esta expresión } 1 + K_s \doteq 1 + \frac{M_s g}{W} \approx 1.05$$

El coeficiente C_s debe ser determinado experimentalmente, y un valor promedio puede ser tomado como

$$C_s \approx 0.12$$

Escribiendo la ecuación (IV-74) como sigue:

$$x'' + Ux'^2 = 0 \quad (\text{IV-75})$$

$$\text{ya que: } \rho g = \gamma \quad \text{y} \quad \frac{1}{\nabla} = \frac{\gamma}{W}$$

$$x'' + \frac{C_s (\nabla_s)^{2/3}}{2(1+K_s)\nabla_s} x'^2 = 0$$

$$\therefore x'' + \frac{C_s}{2(1+K_s)\nabla_s^{1/3}} x'^2 = 0$$

donde

$$U = \frac{C_s}{2(1+K_s)} \frac{1}{\sqrt[3]{\nabla_s}} \quad (\text{IV-76})$$

U es una constante para un buque dado.

La primera integral de la ecuación diferencial (IV-75) puede inmediatamente ser escrita como en la fórmula (IV-44) en la que Z es puesta igual a 0, U es considerada como una constante y x'_1 es reemplazada por la velocidad al final de la tercera e-

tapa antes de la caída x'_s . Se obtiene entonces:

$$x' = x'_s \cdot e^{-Ux} \quad (\text{IV-77})$$

La segunda integral es:

$$t = \frac{1}{U \cdot x'_s} e^{Ux} + C$$

Haciendo $x = 0$, $t = 0$ se obtiene:

$$C = - \frac{1}{U \cdot x'_s}$$

y entonces

$$t = \frac{1}{U x'_s} (e^{Ux} - 1)$$

De aquí se puede obtener la fórmula final.

$$x = \frac{1}{U} \ln (U x'_s \cdot t + 1) \quad (\text{IV-78})$$

La fórmula (IV-77) y (IV-78) señala que la velocidad de traslación decrece de acuerdo a una ley exponencial y el recorrido es una función logarítmica de tiempo.

Para determinar la inmersión máxima del extremo posterior - antes del hundimiento es necesario colocar una ecuación de cabeceo y levantamiento concurrentes del buque en aguas tranquilas y entonces resolver.

En el presente caso se puede proceder de una manera más simple y obtener la inmersión máxima de la siguiente manera:

Cuando el buque cae fuera de las vías, la distancia a través de la cual el buque se sumerge está determinada por la diferencia entre el calado al extremo posterior de las anguilas T_2 y la profundidad del agua en la antegrada T_0 , mediante este valor $T_2 - T_0$, que señala la distancia recorrida a través de la cual el extremo posterior de las anguilas debe sumergirse para que el

buque flote en la posición de equilibrio. Cuando éste está sobre la antegrada, el buque es desviado de su posición de equilibrio por la altura de la caída $T_2 - T_0$, ya que cuando se pone en libertad el buque, al caer fuera de las vías comienza a oscilar cerca de la posición de equilibrio. Sino se toma una tolerancia para la resistencia del agua a la oscilación, como es conocido de la teoría de las oscilaciones, la amplitud será igual a la desviación inicial de la posición de equilibrio, es decir a la altura de la caída $T_2 - T_0$.

Consecuentemente, el extremo posterior de la anguila puede sumergirse a una distancia máxima igual al balanceo $2(T_2 - T_0)$ en relación a la antegrada. De acuerdo a la posición de equilibrio el extremo posterior de las anguilas se sumergirá una distancia igual a $T_2 - T_0$.

Entonces la máxima inmersión posible del extremo posterior de la anguila más allá de la antegrada después de la caída es:

$$T' = T_2 + (T_2 - T_0) = 2 T_2 - T_0 \quad (\text{IV-79})$$

Partiendo de datos experimentales y de los cálculos encontrados para la resistencia de agua se puede decir que el factor 2 de T_2 puede ser reducido tomando los valores de 1.5 a 1.7. El tiempo requerido para que el extremo posterior de las anguilas se sumerja una distancia igual al balanceo $2(T_2 - T_0)$, es determinado, en la teoría de las oscilaciones, por la mitad del período de las oscilaciones. En el presente caso estamos tratando con los períodos de levantamiento y cabeceo los cuales siempre son cerrados en magnitud. La mitad del periodo de levantamiento τ_T correspondiente a un balanceo simple es expresado por la fórmula

$$\frac{\tau_T}{2} = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta}{g \cdot \Omega} \cdot H}$$

Colocando en la fórmula (IV-78)

$$t = \frac{\tau_T}{2}$$

y calculando U de acuerdo a la fórmula (IV-76), se encuentra la distancia x en la antegrada en el cual la profundidad del agua más allá de la misma no debe ser menor que T' calculada por la fórmula (IV-79) para tener la seguridad de que el extremo posterior de la anguila no golpeará el suelo cuando el buque caiga fuera de las vías.

c. CALCULOS

En la actualidad el único procedimiento que se utiliza por su sencillez es el que se expone a continuación y es conocido como el método inglés. Consiste en construir un gráfico disponiendo en las abscisas los recorridos "x" del buque de derecha a izquierda, considerando la costumbre de que la proa se dibuja a la derecha. Como ordenadas se tomarán los valores correspondientes de las variables que vamos a considerar con las escalas convenientes para las líneas que van a representar fuerzas o momentos. Las líneas que hemos de trazar son las siguientes:

W : Peso del objeto lanzado. Como su valor es constante, su representación será una línea recta horizontal y la escala en toneladas.

V_s : Desplazamiento de la parte sumergida. Con una serie de valores convenientemente espaciados de "x", se obtienen los desplazamientos correspondientes y se traza la curva utilizando la misma escala en toneladas, que la que se ha empleado para el peso. La ordenada "0" corresponde al punto del recorrido en que el talón del codaste penetra en el agua.

M.W.S.: Momentos del peso respecto al extremo de proa de las anguilas. Conocido el peso, la posición de su c.g. y la situación del extremo de proa de las anguilas, el brazo de palanca será:

$$b = (m + h \operatorname{tg} \theta) \cos \theta \quad (\text{IV-80})$$

Siendo:

m = distancia del c.g. sobre una paralela a la quilla, al extremo de proa de la anguila.

h = altura del c.g. sobre la superficie de deslizamiento.

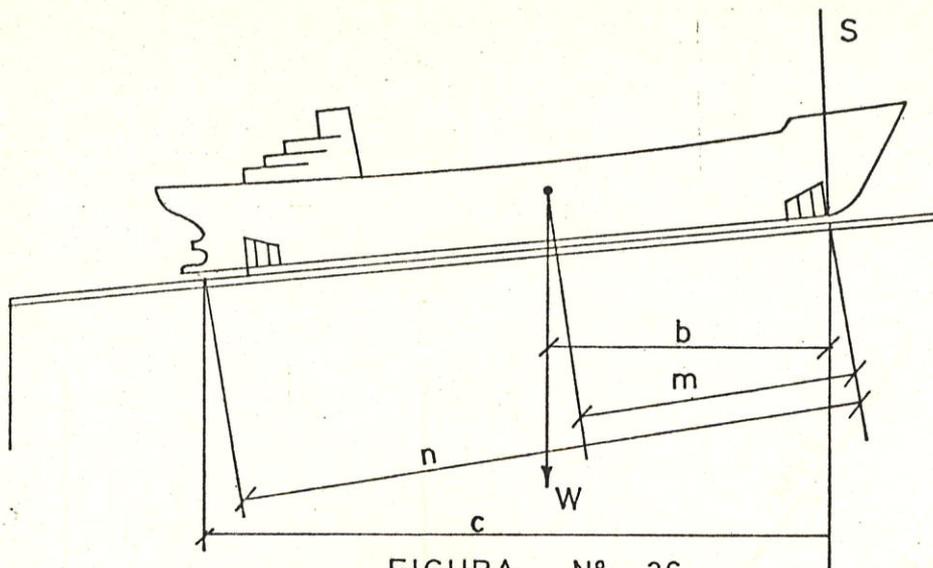


FIGURA Nº 36

En general basta tomar $b = m$. El valor de este momento permanece constante y su representación, como la del peso, será también una línea recta horizontal con su escala en ton x mt.

MVS : Momento del desplazamiento respecto al extremo de proa de las anguilas. En cada uno de los valores "x" del recorrido para los que se obtuvo el desplazamiento, se calcula igualmente, como se indicó, la abcisa del c.d.c. respecto a la perpendicular de popa. El brazo de palanca será:

$$d = (n - x_C + \text{htg } \theta) \cos \theta$$

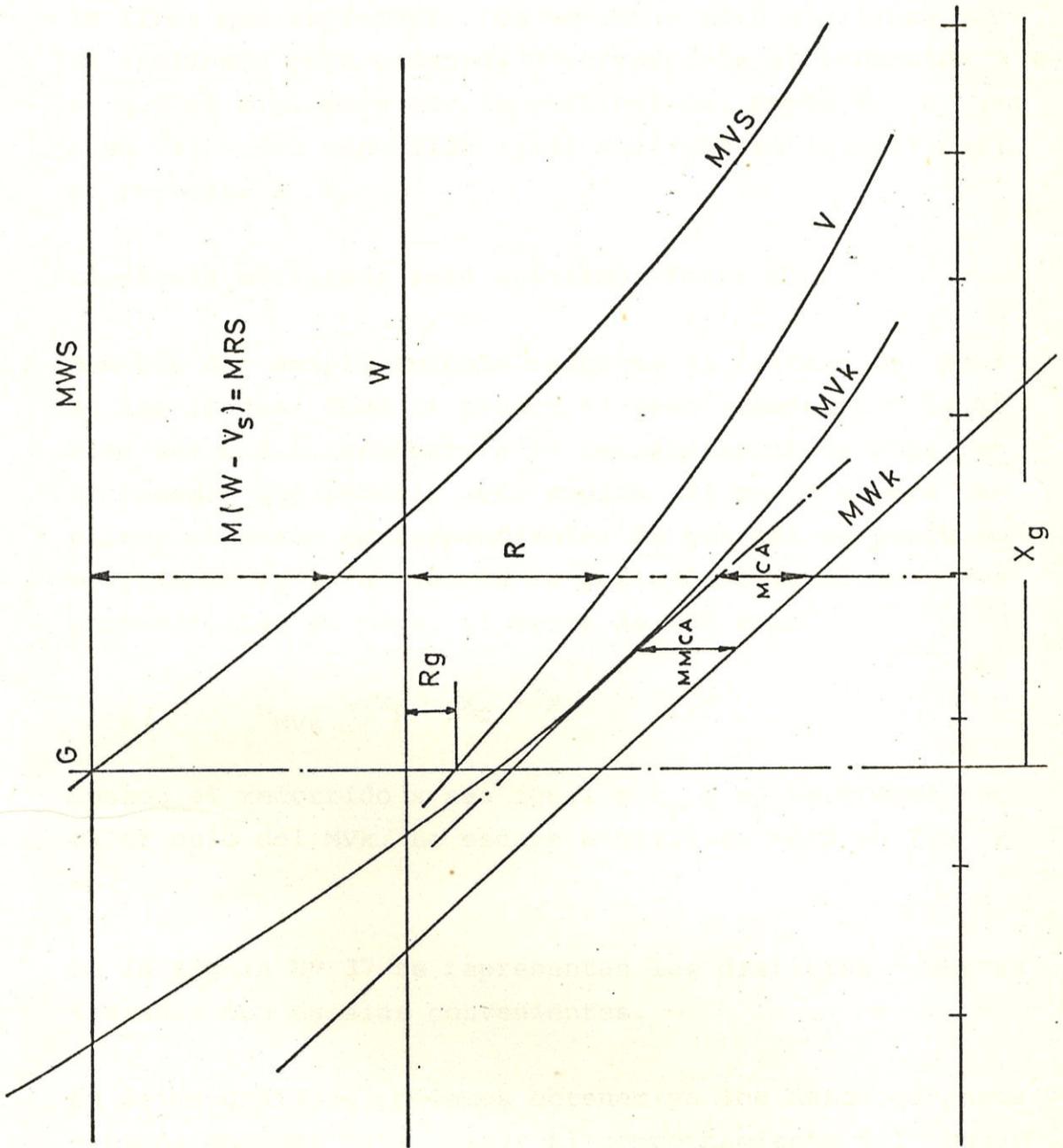
Siendo:

n = distancia entre la perpendicular de popa y el extremo de proa de las anguilas.

En general basta con tomar d igual a $c - x_C$, siendo:

$$c = n \cos \theta$$

La curva resultante, en la misma escala ton x mt. del M.W.S. aparece en la Figura Nº 37 y su ordenada 0 corresponde, al igual que la de la V_S , al recorrido en que se introduce el talón del codaste en el agua.



FIGIIRA N° 37

MWk: Momento del peso respecto al extremo de popa de las imadas. El punto k definido por el extremo de popa de las imadas donde estas terminan y por tanto, donde termina todo posible apoyo de la cuna. Siendo el peso constante, la línea que representa los momentos será una línea recta inclinada cuya ordenada "0" corresponde al recorrido "x" en que el c.g. pasa por la vertical del punto k, o sea a un valor del recorrido igual a la abcisa inicial del c.g. respecto a k.

La escala utilizada será asimismo, Ton x mt.

MVk: Momento del desplazamiento respecto al extremo de popa de las imadas. Como se conoce el desplazamiento y la abcisa del c.d.c. respecto a la perpendicular de popa, solo tenemos que referir esta abcisa al punto k para aplicar el brazo correspondiente. En general se puede tomar siendo x_p la abcisa de la posición inicial de la perpendicular de popa, el brazo de MVk como

$$b_{MVk} = x_p + x_c - x$$

Cuando el recorrido x sea igual a $x_p + x_c$ tendremos un valor nulo del MVk. La escala a utilizar será en Ton x mt.

En la figura N° 37 se representan las distintas curvas trazadas con escalas convenientes.

En estos gráficos, podemos obtener ya los datos que necesitamos conocer para juzgar el comportamiento del buque en esta primera fase del lanzamiento, mientras desliza apoyado sobre las imadas.

Reacción de las Imadas

Será la resultante de las fuerzas peso y desplazamiento:

$$R = W - V_s$$

Se lo obtiene directamente en el gráfico para cada punto del recorrido por la diferencia entre las ordenadas de las líneas W y V_S y representa el valor de la resultante del conjunto de presiones de apoyo que se ejercen entre las partes de la imada y anguilas que están en contacto. El punto de aplicación de esta resultante puede calcularse con facilidad por su distancia a uno de los puntos S ó k, por tratarse de un sistema en equilibrio.

Así la distancia de la resultante al punto S será:

$$d_S = \frac{MWS - MVS}{R} = \frac{MRS}{R} \quad (\text{IV-81})$$

y al punto k,

$$d_k = \frac{MWk - MVk}{R} = \frac{MCA}{R} \quad (\text{IV-82})$$

Los valores MRS y MCA los podemos obtener del gráfico por diferencias de ordenadas de las líneas de los momentos respectivos. Es importante conocer los valores sucesivos de esta reacción y la situación de sus puntos de aplicación para determinar las presiones que se van a desarrollar sobre el fondo del buque y sobre la antegrada. Sus valores pueden ser tan elevados que, de no preverse el reforzado necesario, podrían llegar a ocasionar deformaciones en la estructura del fondo del casco.

Arfada y Momento contra-arfada

La condición para que se produzca la Arfada queda indicada por el cruce de las líneas MVk y MWk, ya que en el punto de intersección se igualarían los momentos de W y V respecto a k y en el recorrido siguiente MWk sería mayor que MVk determinando la caída de la popa, con la elevación de la parte de proa del buque. La seguridad contra esta condición nos la proporciona la separación permanente entre las dos líneas y su valor en cada punto del recorrido es la diferencia entre las ordenadas de los momentos:

$$MVk - MWk = MCA$$

que se denomina el momento contra arfada. Trazando a MVk una tangente paralela a MWk, podemos conocer el valor mínimo que va a alcanzar este momento, o momento mínimo de contra arfada, MMCA vemos pues que para evitar la arfada, el MMCA ha de tener claramente un valor positivo y con un margen amplio que nos cubra de las posibles inexactitudes del cálculo.

Si estas dos líneas se cruzan o no tienen valor MMCA lo suficientemente amplio habrá que considerar las condiciones con las que podamos aumentarlo para replantear de nuevo el lanzamiento con la modificación de aquellas que pueden convenir. Estas condiciones podrán ser de dos tipos:

- 1) Las que tienden a disminuir el momento de los pesos; y
- 2) Las que tienden a aumentar el del desplazamiento en el punto crítico.

Entre las primeras podemos considerar la reducción de pesos a popa, su traslación hacia proa o el aumento de pesos a proa, siendo lo más practicable la alteración de los lastres de agua con los inconvenientes que se presentan y se puede en todo caso recurrir a las imadas curvas.

Para aumentar el momento del desplazamiento se podría dar una mayor pendiente a las imadas, o aumentar la profundidad del agua en el punto k, para lo cual se tendrían que alargar la antragrada, lo cual no resultaría económico, o lo más práctico, - programar el lanzamiento para la pleamar de otra fecha en que se tenga mayor coeficiente de marea.

Giro y reacción de los Soportes durante el giro

La condición del giro y la posición en que éste se produce viene señalada por el punto G en que se cortan las líneas MWS y MVS, determinando la abcisa Xg. del recorrido y por tanto

la zona de la antegrada en que se inicia el giro. El valor de la reacción en ese instante, R_g , se lo obtiene por la diferencia de ordenadas entre W y V . A partir del punto X_g en el recorrido del buque por la misma pendiente, el MVS supera al MWS dando lugar a la elevación de la popa del buque que se apoyará solamente sobre los santos de proa en los que se concentra la totalidad de la reacción R_g , pero precisamente por producirse este despegue y variar la pendiente de la quilla, la validez de las curvas V y MVS habrá terminado en X_g .

Siguiendo su recorrido, después del punto X_g la flotabilidad sigue aumentando y la reacción R disminuyendo, pero no tanto como si siguiera la línea V , debido a que la pendiente de quilla va disminuyendo con el giro, durante el cual la popa se sigue levantando y la proa descendiendo por su rotación alrededor del punto de apoyo. Si en el tramo que queda hasta el punto k del extremo de la antegrada se alcanza una profundidad de agua mayor que el calado que hemos calculado que va a tener el buque a flote, la reacción se anulará al quedar el peso sustentado en equilibrio por el desplazamiento. De no ser así, el extremo de proa de las anguilas llegarán al final del recorrido existiendo todavía una reacción y se producirá el saludo como indicamos anteriormente.

No habiendo saludo, el punto del recorrido en que el buque va a flotar libremente se determina por la profundidad del agua sobre la superficie de deslizamiento que alcanza el calado sobre el extremo de proa de las anguilas con el buque a flote. Como conocemos también el trimado del buque a flote, podemos determinar la posición del talón del codaste y lo que ha descendido la proa. El estudio de esta fase comprendida entre el punto en que se inicia el giro y el punto en que termina, se efectúa por el cálculo de la posición de equilibrio con el buque varado en un punto que es el extremo de proa de las anguilas, pero puede comprobarse que la traslación y la elevación del talón del codaste por efecto del giro son proporcionales y su trayectoria es sensiblemente rectilínea, por lo que podemos determinarla fa

cilmente puesto que conocemos de la misma sus puntos inicial y final. Esto nos permitirá comprobar sobre el perfil del fondo si existe peligro de que el talón del codaste pueda tocar en él. De forma semejante se debe comprobar que tenemos espacio suficiente debajo de la proa para que durante el giro no toque en la antegrada.

Si en el extremo k de la antegrada no hay agua suficiente y las anguilas van a abandonar las imadas habiendo todavía una reacción que al faltar determinará el saludo, los valores de las reacciones durante el giro y las posiciones del buque en los distintos puntos del recorrido desde X_g hasta el punto k, pueden determinarse del siguiente modo; Si la pendiente de la quilla con el buque apoyado es θ y la que va a tener a flote es β . Tomamos $\alpha = \frac{\theta - \beta}{n}$ siendo n un número entero cualquiera y definimos una serie de inclinaciones $\theta - \alpha, \theta - 2\alpha, \theta - 3\alpha \dots \theta - n\alpha$. Eligiendo un punto Z cualquiera entre el recorrido X_g y el punto X_k final y sirviéndose de las curvas Bonjean se calculan los desplazamientos y los momentos de los desplazamientos respecto al punto S de las carenas que, teniendo el calado en los santos de proa que corresponde a la profundidad del agua en el punto Z, tienen a su vez, las inclinaciones de quilla $\theta - \alpha, \theta - 2\alpha \dots \theta - n\alpha$. Repitiendo esta operación en otra serie de puntos Z igualmente espaciados, podemos determinar las curvas $V_a, V_b, V_c \dots$ y las $M_a, M_b, M_c \dots$, que nos dan los desplazamientos y los momentos de los desplazamientos que tendrían el buque con los santos apoyados en las imadas e inclinaciones de quilla respectivamente iguales a $\theta - \alpha, \theta - 2\alpha, \dots \theta - n\alpha$.

Considerando que el giro se desarrolla con equilibrio estático, las intersecciones de las curvas $M_a, M_b \dots$ con la recta MWS, determinará los puntos del recorrido $X_a, X_b, X_c \dots$, en que las pendientes de la quilla tendrán precisamente los valores $\theta - \alpha, \theta - 2\alpha, \theta - 3\alpha \dots$. En cada punto, las curvas respectivas $V_a, V_b \dots$ nos indican el desplazamiento correspondiente y las diferencias con la recta W, señalarán los valores que van tomando -

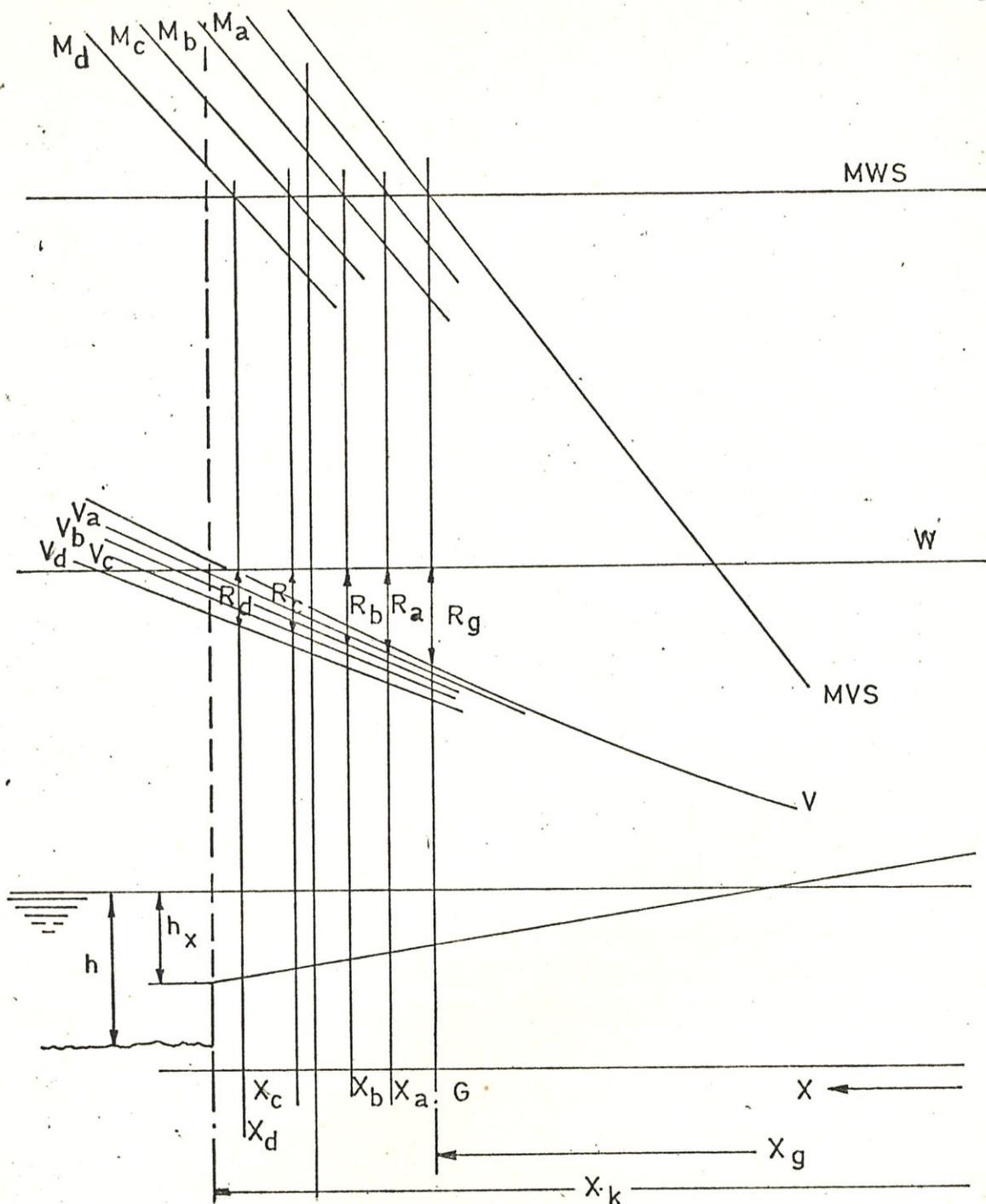


FIGURA N° 38

las reacciones R_a, R_b, \dots

Al abandonar los santos este punto k habiendo una reacción, si la profundidad del agua en dicho punto es h_k y el calado que se calcula ha de quedar el canto de proa de las anguilas con el buque a flote es c_s , la caída estática de la proa en el salido será:

$$C_e = c_s - h_k$$

y, como dijimos, la caída real por efecto dinámico se estima en

$$C_d = 2 (c_s - h_k) \quad (\text{IV-83})$$

Esta distancia es la que hemos de tener como mínimo, aumentándole cierto margen de seguridad, entre la antegrada y la proa del buque en la posición en que se encuentra por el desarrollo del giro, en el instante de abandonar las imadas. A su vez, la profundidad del fondo h_f en la inmediación del punto k , para evitar todo peligro de toque, ha de ser con cierto margen

$$h_f > h_k + 2 (c_s - h_k)$$

o sea,

$$h_f > c_s + (c_s - h_k) \quad (\text{IV-84})$$

Cuanto hemos visto se ha basado exclusivamente en consideraciones estáticas. En la práctica hay varios factores que alteran la posición del punto en que se iniciará el giro y los valores de fuerzas y momentos. La velocidad con que el buque penetra en el agua hace que se levante una ola en la popa que traslada el c.d.c. hacia popa, aumentando los valores de MVS y MV_k sobre los calculados estáticamente, y proporciona además un empuje adicional por efecto hidrodinámico contra las formas de popa.

Este fenómeno tiende, por lo tanto, a anticipar el momento del giro y proporciona una seguridad adicional en los valores calculados del momento de contrarfada. Pero en cambio, al retirarse las aguas con la ola, puede hacer disminuir peligrosamente la profundidad del agua h_k y h_f , junto al punto k , en el momento en que los Santos abandonan las imadas, dando lugar a un saludo más acentuado que el previsto.

Por otra parte la adherencia de las grasas y la propia inercia tienden a retardar el giro.

Estos efectos son muy variables y dependen a su vez de una serie de factores como la velocidad que tome el buque, las formas de la popa, de los santos de popa, de los apéndices y pantallas que se hayan dispuesto para el frenado, de la profundidad y configuración del fondo de la dársena, de la proximidad de los muelles que pueda haber lateralmente a la antegrada y de la amplitud y disposición de la dársena en que el buque penetra. Los márgenes de seguridad que han de tomarse por estos efectos dinámicos han de decidirse por experiencia.

Cabe preguntarse lo que sucederá si al trazar los gráficos nos encontrásemos que en el intervalo crítico entre los puntos A y B (figura N° 39), en que se han cruzado las líneas respectivas y MW_k es mayor que MV_k , señalando que hay arfada, se produjera también el cruce de MWS y MVS que determinan el giro; pero siendo $\nabla_s < W$ puede demostrarse que si hay giro no puede haber arfada y si hay arfada no puede presentarse el giro.

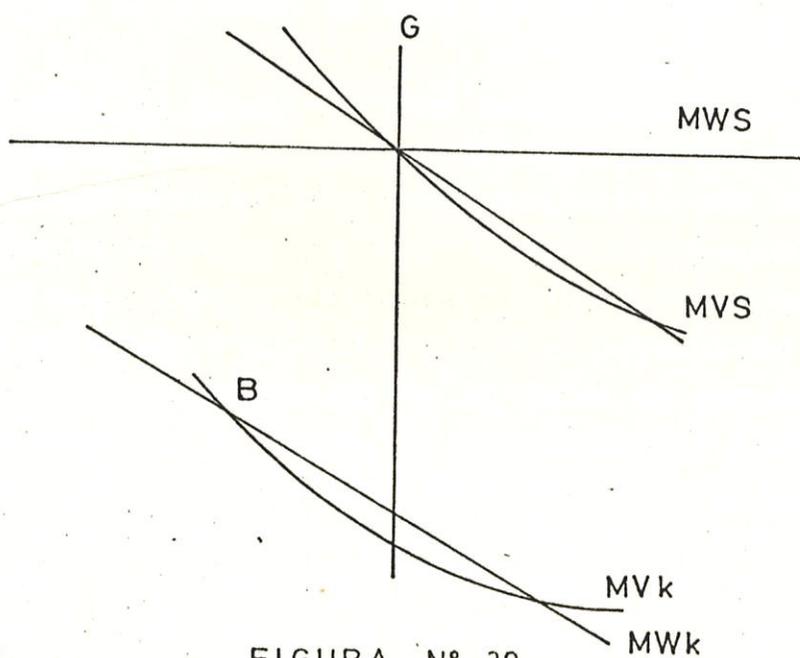


FIGURA N° 39

De nuevo, si al considerar el giro y en la reacción de los santos se encontraran valores excesivos, se pueden alterar variando la disposición de los pesos. Así, una buena disposición de los lastres ha permitido incluso el lanzamiento de algunos buques de proa, venciendo las dificultades que representa el trimado natural del buque en rosca con el que se tendría un giro muy acentuado.

Cálculo de las Presiones de Apoyo

Hasta aquí hemos visto como se calculan los valores que va tomando la resultante de la reacción de apoyo, pero para asegurarnos de que no se van a desarrollar esfuerzos excesivos en la propia estructura del buque, en la cama o sobre el terreno de la grada, es preciso conocer las cargas que esta resultante origina. De acuerdo con estas cargas, todos los elementos bajo consideración se dimensionan con amplitud, tanto en la cuna como en el reforzado que haya de habilitarse en la estructura del buque. Los puntos más críticos suelen estar en el fondo del buque y en los santos de proa.

Veamos como se procede en cada uno de ellos:

Presiones sobre el fondo.- Desde que se inicia el deslizamiento hasta que el casco empieza a introducirse en el agua, la reacción de las imadas tiene por resultante una fuerza igual al peso, que se va situando en las distintas posiciones que va ocupando el c.g. Esta resultante es la suma de todas las presiones que se están ejerciendo sobre la superficie de apoyo, - las cuales serán el resultado de la forma en que estén distribuidos los pesos en el buque, y, rigurosamente hablando, no tienen por que estar distribuidas uniformemente. No obstante, siendo grande la superficie de apoyo y estando el c.g. alejado de los extremos, las variaciones son pequeñas, salvo en las concentraciones grandes de pesos que pueda haber y que han de considerarse de forma aislada. Se acostumbra a dar la presión media P_m que viene determinada por la superficie de las anguilas

$A_a, P_m = \frac{R}{A_a}$ y sus valores suelen estar entre 2 y 3 Kp/cm².

Al entrar el casco en el agua, la resultante va disminuyendo y su valor $R = W - V_s$; pero, su punto de aplicación se va desplazando, habiendo visto en las fórmulas IV-81 y IV-82 como se calcula su posición. En cuanto una parte de las anguilas han sobrepasado el extremo de las imadas, es obvio que la superficie de apoyo se ha reducido y las presiones pueden tomar valores mayores que es necesario estudiar con más detalle.

Para ello el procedimiento que se ha seguido durante muchos años y que puede aplicarse en buques que no sean muy grandes, se basa en admitir que, por la gran rigidez del casco, la quilla se mantiene recta y la deformación de las imadas, adaptándose a dicha recta, sigue una ley lineal. Las deformaciones de imadas y anguilas son proporcionales a las cargas por unidad de longitud, las cuales siguen, igualmente, una ley lineal. De este modo el gráfico de cargas será trapecial, como se indica en la figura N^o 40.

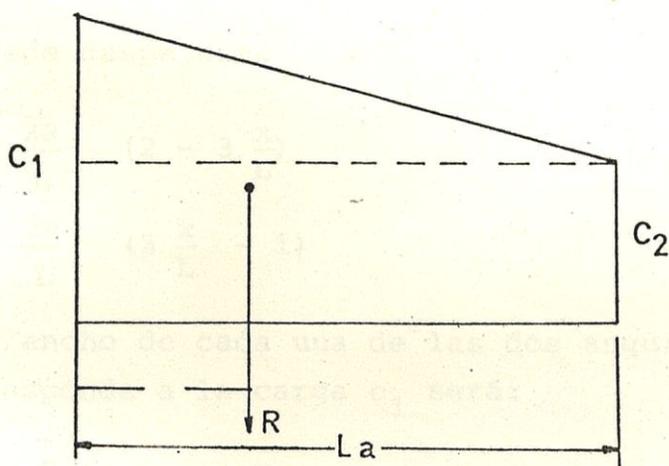


FIGURA N^o 40

Siendo x la distancia d_k a que la resultante queda del punto k y L_a la longitud de anguilas que están apoyadas cuando el buque se encuentra en el punto del recorrido que se está considerando (figura N^o 41), la resultante R se distribuye en las cargas por unidad de longitud de la figura N^o 40, cuyos valo-

res extremos c_1 y c_2 se determinan por las ecuaciones de equilibrio.

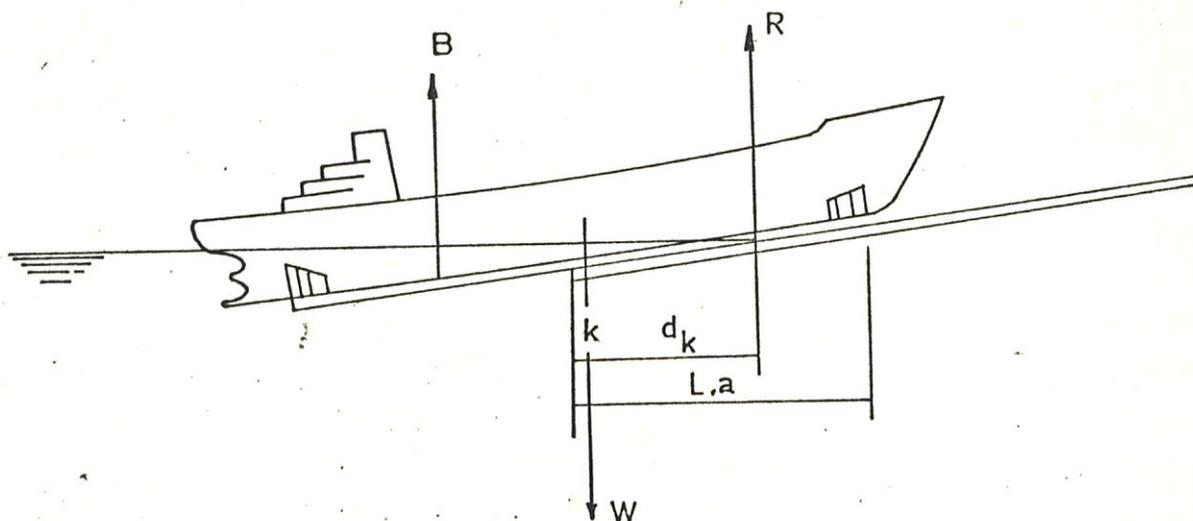


FIGURA N° 41

$$R = c_2 L + \frac{L}{2} (c_1 - c_2)$$

$$R \cdot x = c_2 \frac{L^2}{2} + \frac{L^2}{6} (c_1 - c_2)$$

de las que puede despejarse

$$c_1 = \frac{2R}{L} \left(2 - 3 \frac{x}{L} \right) \quad (\text{IV-85})$$

$$c_2 = \frac{2R}{L} \left(3 \frac{x}{L} - 1 \right) \quad (\text{IV-86})$$

Siendo "a" el ancho de cada una de las dos anguilas, la presión que corresponde a la carga c_1 será:

$$p_1 = \frac{R}{La} \left(2 - 3 \frac{x}{L} \right) \quad (\text{IV-87})$$

En la fórmula (IV-86) puede observarse que cuando $\frac{x}{L} < \frac{1}{3}$ el valor de c_2 resultaría negativo. Como esto no puede suceder realmente, la carga se distribuye de forma triangular sobre una longitud $3x$ y en el extremo c_1 tomará la forma:

$$c_1 = \frac{2R}{3x} \quad (\text{IV-88})$$

y la presión será

$$p_1 = \frac{R}{3ax} \quad (\text{IV-89})$$

Cuando la resultante se aproxima mucho al punto k , la presión máxima en el extremo p_1 , puede alcanzar valores muy elevados y si el valor de $x = 0$, sintoma de arfada, la presión se hace teóricamente infinita siempre que la rigidez del casco y de las imadas fuera infinita. En la realidad hay una deformación plástica y las presiones, aunque con valores muy elevados, se distribuyen sobre una longitud apreciable.

El conocimiento de estas presiones y su posición respecto al punto S del extremo de proa de los Santos nos permite determinar las cargas que vamos a tener sobre el casco del buque y las zonas del mismo en que van a aplicarse. Si excedieran los valores que se consideran seguros, será necesario estudiar un reforzado interior adicional para distribuirlas sobre zonas más sólidas y evitar las deformaciones que podrían producirse por colapso de la estructura del fondo.

En los lanzamientos de cascos muy grandes, como los superpetroleros que se construyen actualmente, la hipótesis de la rigidez del casco que conduce a la distribución lineal de las presiones puede proporcionar sorpresas muy desagradables. Efectivamente, el casco se deforma elásticamente bajo la acción de los grandes pesos de la popa, tomando una curvatura que induce sobre el extremo k de las imadas presiones muy superiores a las obtenidas por el método citado. Si observamos además, que la gran ola que origina la entrada en el agua a cierta velocidad de estos cascos con elevados coeficientes de bloque supone realmente una retirada de las aguas, dejando un nivel de agua inferior al previsto en esta zona y, por consi-

guiente, menor desplazamiento, puede preverse que las presiones sobre el fondo del buque serán todavía mayores y, sobrepasando los márgenes de seguridad que se hayan tomado, provocan deformaciones importantes.

Conociendo en cada situación la curva de distribución de pesos menos empujes a lo largo del buque, y la distribución de presiones de reacción, podríamos determinar la forma en que el casco está solicitado. Si lo supiéramos, teniendo la curva de momentos de inercia de las secciones transversales, las de módulos de fondo y cubierta y la curva de áreas de los elementos de la sección transversal que trabaja a esfuerzo cortante, podríamos llegar a determinar la forma de la elástica y con ella, los valores de las presiones de apoyo; pero estos últimos datos son precisamente los que buscamos.

Una brillante solución a este problema es la aplicación del método de "Diferencias finitas para el cálculo de Vigas continuas" transformando las ecuaciones diferenciales de la elástica en un sistema de ecuaciones lineales cuyos coeficientes se calculan, para cada situación, y con la ayuda del ordenador, mediante un programa preparado para ello.

Presiones en los santos de proa

Estos han de soportar la reacción durante el giro, que puede alcanzar valores del 25 al 30% del peso del buque. (16.000 Tons. en el lanzamiento del petrolero que tenía un peso de 64.000 Tons.).

El valor máximo de esta reacción ya hemos visto como se calcula y la resultante se aplica sobre las dos anguilas, lo que teóricamente tendrá que hacerse en el mismo extremo de proa, con lo que, del mismo modo que vimos al estudiar la distribución trapezoidal sobre el fondo (fórmula IV-89), tomando ahora la abscisa x desde el extremo de proa, el valor teórico de la carga por u-

nidad de longitud, o de la presión en el extremo se hace infinito; pero, disponiendo debajo de los santos una capa de madera más blanda que se aplastará en el giro, las cargas se distribuyen admitiendo que se aplican sobre los 8 o 9 metros de longitud de las piezas que soportan los santos. En el lanzamiento de grandes buques, para asegurar mejor esta distribución de la carga se colocan debajo de los santos sendos patines de forma cilíndrica de gran radio y eje transversal a la grada, los cuales apoyan sobre cuna de igual forma, interponiendo además una grasa entre ambas superficies, facilitando su deslizamiento durante el giro sin variar la disposición del apoyo y la distribución de la carga. (Véase la Figura N^o 43).

Con apoyo recto de los santos, no sería real considerar que la carga se distribuye uniformemente sobre la longitud de los 8 o 9 metros de anguilas que hemos mencionado y aunque contamos con el aplastamiento de la capa de madera blanda para extender el apoyo, conviene considerar una concentración de la carga en el extremo de proa.

Una forma práctica de hacerlo que se ha utilizado frecuentemente, consiste en suponer una distribución parabólica de las presiones, de forma que en el extremo de proa se tenga una presión doble de la media que resulta de aplicar la reacción R sobre la superficie de apoyo de los soportes A_s . (Figura N^o 42).

$$\text{Así, si la presión media } P_m = \frac{R}{A_s}$$

El valor de la presión en un punto distante "x" del extremo de popa de los santos se toma igual a "y".

$$y = P_m + \frac{P_m}{\lambda_s^2} x^2 \quad (\text{IV-90})$$

Siendo:

λ_s = longitud de los soportes que se consideran.

$$\text{Para } x = \lambda_s$$

$$y = 2 P_m$$

Integrando las presiones que hemos aplicado vemos que, en suma, hemos cargado una resultante mayor de la real, pero la presión a proa que así se obtiene se aproxima más a la realidad y el exceso de carga total nos proporciona un margen de seguridad muy conveniente en esta zona en que es muy difícil saber con precisión como va a tomar la carga durante el giro.

A partir del momento en que se inicia el giro, la resultante R va disminuyendo hasta que el buque queda a flote, o hasta que las anguilas abandonan el extremo de las imadas. Al mismo tiempo, el ángulo entre cuna e imadas, nulo al principio, va tomando los valores que vimos anteriormente como se calculan, hasta llegar a su valor máximo final. Con este giro, la presión sobre las imadas se concentraría en la arista de proa de las anguilas, pero el aplastamiento de la madera blanda que se interpone, distribuyen la carga sobre un área que dependerá en cada situación del ángulo que ha girado y de la resistencia de la madera al aplastamiento.

Esta madera se coloca en varias filas de tablas entre las piezas de los santos.

Según Andrews, el área de la superficie de apoyo durante el giro depende del aplastamiento "c" en el extremo de proa y siendo α el ángulo que ha girado el buque, viene determinada por:

$$A = 2 a \lambda = 2 a \frac{c}{\text{tg } \alpha}$$

En la que " λ " es la longitud de la superficie de apoyo y "a" el ancho de las anguilas. Si la presión se distribuye uniformemente sobre esta área, su valor será:

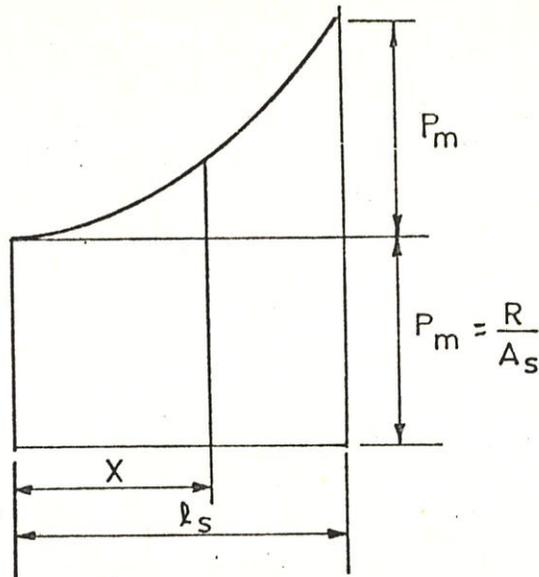


FIGURA N° 42

$$p = \frac{R}{A} = \frac{R \operatorname{tg} \alpha}{2 a c}$$

siendo R , como vimos, la resultante de la reacción en dicha situación. Esta fórmula daría lugar a que las presiones sobre las imadas durante el giro partieran de un valor nulo, al comenzar con $\operatorname{tg} \alpha = 0$, para terminar en un valor nulo también, cuando $R = 0$, alcanzando un valor máximo hacia el centro del recorrido durante el giro. Dando valores de la presión máxima p_1 y a los valores correspondientes de resultante R_1 , ángulo de giro α_1 , y del aplastamiento máximo c_1 a proa se tiene:

$$p_1 = \frac{R_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{2 a \cdot c_1} \quad (\text{IV-91})$$

Los valores de los aplastamientos que sufre la madera por efecto de la carga, se determina por medio de ensayos con muestras de la misma madera y se expresan en un gráfico (Figura N° 43) de presiones y aplastamientos en tanto por ciento. Es una buena práctica limitar el aplastamiento de la madera a un tercio de su espesor inicial. La carga sobre una columna vertical de tablas será:

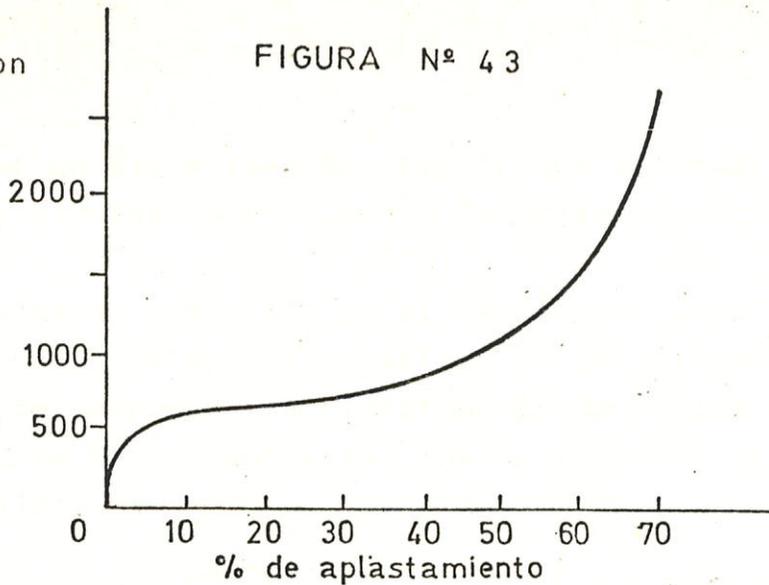
$$c = p_1 \cdot e \cdot a.$$

p_1 se toma de IV-91.

Presion
psi

FIGURA N° 43

113



"e" es la separación entre columnas de tablas.

"a", la anchura de las anguilas.

Dividiendo esta carga por la sección de apoyo de la tabla, nos dará la presión de aplastamiento p_c

$$p_c = \frac{c}{b \cdot a} \quad (\text{IV-92})$$

siendo "b" el ancho de la tabla.

De aquí, se puede obtener la separación "e" entre columnas de tablas, en función de la presión máxima p_c para que el aplastamiento no exceda de 1/3 del espesor conjunto que forma la columna vertical y de la presión máxima que se calcula en el giro p_1

$$e = \frac{p_c}{p_1} b \quad (\text{IV-93})$$

Los Santos se proyectan para que las presiones máximas en su superficie de apoyo no exceda de los 12 Kp/cm^2 . En el lanzamiento de un petrolero de 365.000 Tons. de peso muerto se llegó a valores máximos de $13,5 \text{ Kp/cm}^2$. Estas presiones son aceptables, a pesar de que son mucho mayores que lo que pueden soportar las grasas que se emplean en el lanzamiento, pues siendo muy breve su tiempo de aplicación, la gran velocidad e iner

cia del buque en esa situación, impide que se produzca la detención, aún expulsando totalmente la grasa por los lados.

Para una mayor precisión en el estudio de la distribución de las presiones, se aplica el método de las diferencias finitas, con él se determina la distribución de cargas sobre el casco de la figura N^o 44, entre las que se incluyen las de proa, durante el giro.

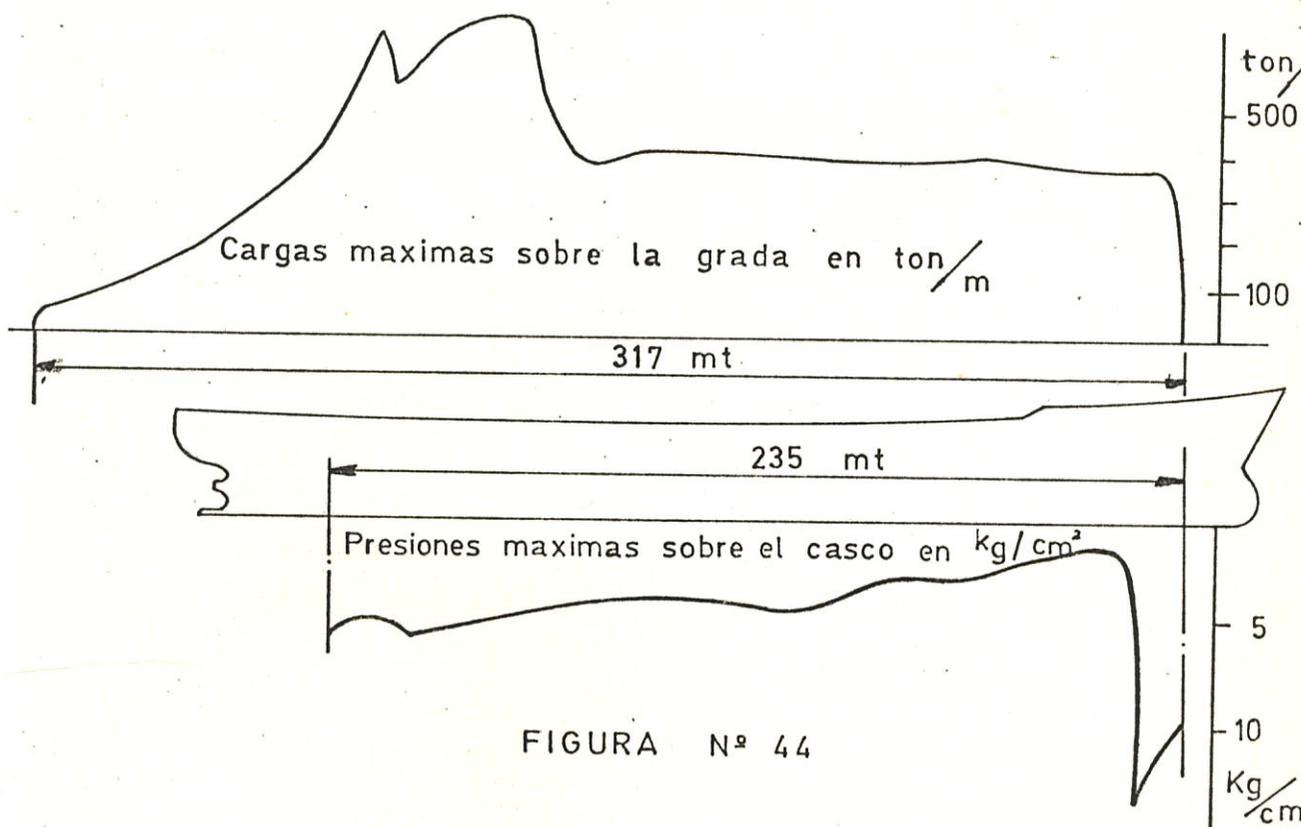


FIGURA N^o 44

La resultante máxima al iniciarse el giro R, han de soportar por igual entre las dos estructuras que forman los santos. Con el valor de $R/2$, o mejor aún, con la distribución parabólica de presiones (IV-90) que hemos estudiado, se pueden calcular las fuerzas que se aplicarán sobre las torres de madera que forman los santos para comprobar su dimensionamiento. Debe analizarse, asimismo, la acción de estas fuerzas sobre el casco, en el que, dadas sus formas (figura N^o 15) tendrán una componente normal y otra tangencial. Con ellas se comprobará si es necesario reforzar interiormente el casco con puntales para soportar

la carga máxima y con la componente tangencial se dimensionan las consolas que han de sujetar los santos en la parte superior. Estas consolas pueden disponerse soldadas directamente al forro o sobre fajas de acero que pasan por debajo de la quilla y en las que apoya el casco con la interposición de tablas de madera. Para reducir algo la altura tan grande que habrían de tener los santos de buques con formas muy finas, se les da a estos una oblicuidad (Figura N^o 16) debiendo estudiarse la correspondiente composición de fuerzas.

Las componentes transversales han de tenerse en cuenta para dimensionar el atirantado que ha de sujetar las anguilas entre sí. Durante el giro, el casco estará apoyado sobre los santos, mientras que la parte inferior está retenida por la fricción, por lo que para evitar todo movimiento relativo deben fijarse longitudinalmente al casco con soporte soldado y disponer su arriostamiento con diagonales en el sentido proa - popa.

Estabilidad durante el lanzamiento

No es frecuente tener problemas de estabilidad durante el lanzamiento, pues estando los buques en rosca su altura metacéntrica es elevada. Teniendo en cuenta, empero, que la reacción del apoyo producirá un efecto equivalente a la supresión

de un peso en el fondo, en la posición del centro de aplicación y de valor igual a la resultante, en algunos casos debe efectuarse el estudio de estabilidad en estas condiciones para asegurarse de que el centro virtual de gravedad que se obtiene por la aplicación de la reacción de apoyo, está por debajo del metacentro calculado con margen suficiente del orden de los 30 cm.

Si en lanzamientos con dos imadas tenemos siempre un efecto estabilizante por la separación que hay entre ellas, en las que se utiliza zapata sobre corredera única, la falta de estabilidad puede ser mucho más peligrosa.

Esfuerzos de Flexión durante el lanzamiento

Aunque el casco del buque está proyectado para resistir perfectamente las condiciones más desfavorables que puede encontrar en servicio, en algunos momentos de su lanzamiento puede quedar sometido a solicitaciones anormales que han de preverse. Ya hemos visto como, durante el deslizamiento, la superficie de apoyo disminuye y la carga se concentra en el extremo k de las imadas. Estando la popa sometida a su peso y su desplazamiento siendo aun relativamente bajo, el casco estará sometido en esta fase a esfuerzos de quebranto.

Poco después, cuando se inicia el giro, con la reacción de apoyo en su proa, la solicitación será de arrufo.

Conociendo la distribución de pesos y desplazamientos del buque en cada situación y agregándole las reacciones de apoyo, con distribución trapecial, o triangular, que ya vimos como se obtiene, se llega a la distribución total de cargas. Considerando estáticamente diversos puntos del recorrido, se obtiene por doble integración en cada uno de ellos la curva de momentos flectores. La envolvente de estas curvas nos dará el momento flector máximo y, finalmente, con el módulo resistente de la

sección que está sometida a este momento, se calculan los esfuerzos correspondientes.

El método de cálculo de presiones por diferencias finitas vimos que nos proporciona también los momentos flectores y registra los esfuerzos máximos en fondo y cubierta.

d) EJEMPLOS

En este caso se ha utilizado como ejemplo para el lanzamiento longitudinal al buque diseñado para la Escuela de Pesquería cuyas dimensiones principales son:

Eslora	72.27'
Manga	20.73'
Puntal	10.40'

Los pasos que se siguieron para este cálculo son:

1. Estimado del peso y su centro de gravedad desde la ∞

$$W = 87 \text{ ton.}$$

$$c.g. = 0.38 \text{ (a popa)}$$

Calculados de las curvas Bonjeans a un calado donde se estima que va a flotar el buque.

2. Calados del Buque

Calado a proa	$H_{Pr} = 5'$
Calado medio	$H_M = 6'2''$
Calado a popa	$H_{PP} = 7'9''$

Estos datos son tomados de las curvas hidrostáticas y de los datos anteriores.

3. Estimado del peso total del buque y la cuna

$$87 \times 0.035 = 3.05 + 87 \approx 90 \text{ Ton.}$$

Un porcentaje adicional alrededor del 3% a 4% del ítem 1) debe aumentarse a este ítem.

4. Grada y Antegrada

Inclinación de la grada	1/12
radio de curvatura	36000 ft.
longitud de la grada y antegrada	200 ft.
altura del nivel del agua sobre la antegrada	6'3''
longitud de las anguilas.	62'

ancho de las superficies en contacto (Cada anguila)	12"
area de las superficies en contacto de las anguilas.	124 ft.
presión media por pie cuadrado sobre las anguilas.	0.73 ton.

Las tres últimas consideraciones son tomadas para dar una presión media de las superficies en contacto cerca de 1 ton. por pié cuadrado para buques pequeños y 2.5 ton. por pie cuadrado para buques grandes.

5. Trazado a escala del buque a calcularse con la respectiva grada, antegrada y demás datos señalados anteriormente (Diagrama 1).
6. Diagrama de lanzamiento (Método Inglés)

W : Peso del buque siendo su valor constante y su representación una línea recta.

V_s : Desplazamiento de la parte sumergida según las distancias recorridas por el buque (tablas 1, 2, 3 y 4), se traza la curva utilizando la misma escala que la del peso.

MWS: Momento del peso respecto al extremo de proa de las anguilas, su representación será también una línea recta.

MVS: Momento del desplazamiento respecto al extremo de proa de las anguilas. En cada uno de los valores del recorrido para las que se obtiene el desplazamiento se calcula el centro de carena.

MWk: Momento del peso respecto al extremo de popa de las imadas, su representación es una línea recta inclinada.

MVk: Momento del desplazamiento respecto al extremo de popa de las imadas.

Siendo estos valores dados en la tabla 5 para la graficación correspondiente. Los brazos de los momentos se representan en la figura N° 56.

7. Reacción de las imadas.

$$R = W - \nabla_s$$

Se la obtiene directamente del grafico por cada punto del recorrido por la diferencia de ordenadas de las curvas W y V_s

8. Cálculo de la velocidad

Para la velocidad en la primera etapa usamos la ecuación IV.22

$$X_1' = \sqrt{2g (\beta - \mu D) X_1}$$

$$X_1 = 29'$$

$$X_1' = 10.826 \text{ ft/seg.}$$

Por la velocidad en la segunda etapa elaboramos la tabla 6, usando las siguientes relaciones.

$$\eta = \frac{\gamma C_s}{W} \int_0^x V^{2/3} dx \quad (\text{IV-45})$$

$$E = \frac{2g(\beta - \mu D)}{W} \int_0^x N e^{\eta} dx \quad (\text{IV-46})$$

$$X_2' = \sqrt{e^{-\eta} (E + X_1'^2)} \quad (\text{IV-47})$$

Siendo la velocidad del final de la segunda etapa.

$$X_2' = 13.124 \text{ ft/seg.}$$

La distancia recorrida al final de la segunda etapa se la obtiene del gráfico ya que esta termina cuando la popa del buque comienza a elevarse.

$$X_2 = 91 \text{ ft.}$$

Para la velocidad en la tercera etapa usamos las relaciones:

$$\eta = C_s \left(1 - \frac{N_l}{W} \right)^{2/3} \frac{x}{\sqrt[3]{W/\gamma}} \quad (\text{IV-67})$$

$$N = N_l e^{-\eta} \left(1 - \frac{x}{x_3} \right) \quad (\text{IV-68})$$

Teniendo presente que $v(x)$ y $N(x)$ no pueden ser obtenidos de las curvas Bonjeans a un ángulo constante de asiento ya que está variando continuamente a medida que la popa se está elevando, y para utilizar la fórmula aproximada.

$$x' = \sqrt{e^{-\eta} \left[2g(\beta - u_D) \frac{N_l}{W} \left(1 - \frac{x}{2x_3} \right) x + (x'_2)^2 \right]} \quad (\text{IV-69})$$

que nos dá la velocidad al final de la tercera etapa.

$$x'_3 = 10.512 \text{ ft/seg.}$$

Para poder graficar la velocidad se la ha calculado en varios puntos.

S	V
5	12.447
10	11.792
15	11.157
20	10.545

La distancia recorrida al final de la tercera etapa se ha calculado por la fórmula

$$x_3 = \frac{T_2}{\beta} - x_l + L_1 + L_2 \quad (\text{IV-71})$$

que nos da un valor de:

$$x_3 = 20.28 \text{ ft.}$$

Para la velocidad en la cuarta etapa usamos la relación:

$$U = \frac{C_s}{2(1 + K_s)} \frac{1}{\sqrt[3]{\nabla_s}} \quad (\text{IV-76})$$

para aproximar las fórmulas

$$x' = x'_s e^{-Ux} \quad (\text{IV-77})$$

$$x = \frac{1}{U} \ln (U \cdot x'_{st} + 1) \quad (\text{IV-78})$$

obteniendo los resultados de la velocidad, espacio y tiempo en la tabla 7, en la que observamos que para que el buque pare por si solo debe de recorrer una distancia de mas o menos 2.000 pies, por lo que se puede decidir que a los 50' con una velocidad de 8.631 ft./seg. tirar un ancla o algún otro medio para detener el buque en su recorrido.

Finalmente se hace el diagrama 2 de velocidad v.s. distancia recorrida en la que se observan las variaciones en las diferentes etapas del lanzamiento.

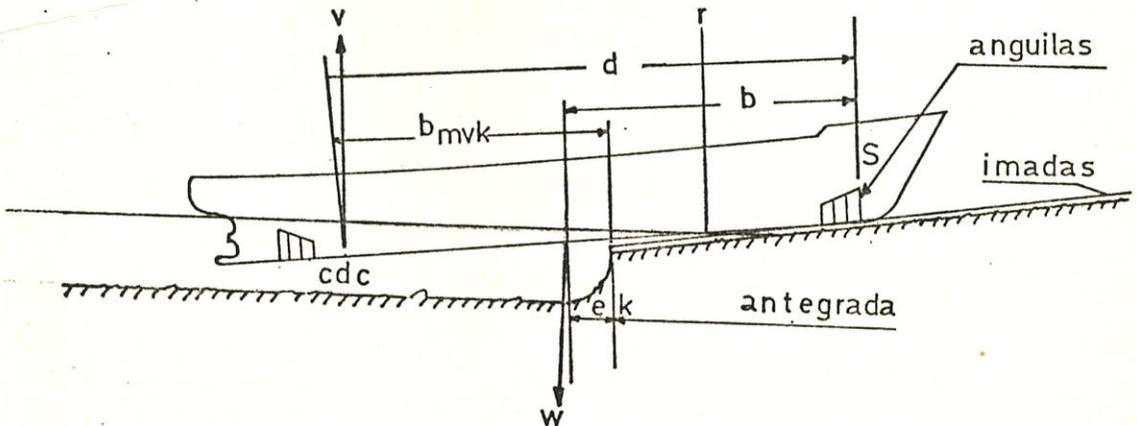


FIGURA N^o 56

T A B L A 1

A (s)	f (s)	f (v)	(b)	f (M)
0.0	1	0	3	0
6.0	4	24.0	2	48.0
14.0	2	28.0	1	28.0
24.0	4	96.0	0	+76.0
30.0	2	60.0	1	60.0
19.0	4	76.0	2	152.0
1	1	1	3	3.0
		285.0		-215
				<u>76</u>
				-139

$$V = \frac{1}{3} \times 285 \times 6.66 = \frac{632.7}{35} = 18.08$$

$$x = \frac{139}{285} \times 6.66 = -325 \text{ (a popa)}$$

T A B L A 2

A (s)	f (s)	f (v)	(b)	f (M)
0	1	0	4	0
9.0	4	36.0	3	108.0
26.5	2	53.0	2	106.0
45.5	4	182.0	1	182.0
60.0	2	120.0	0	+ 396.0
69.0	4	276.0	1	276.0
46.5	2	93.0	2	186.0
29.0	4	116.0	3	348.0
0	1	0	4	0
		876.0		-810

$$V = \frac{1}{3} \times 876 \times 6.66 = \frac{1944.72}{35} = 55.56 \text{ Ton.} \quad \frac{396}{414}$$

$$x = - \frac{414}{876} \times 6.66 = - 315$$

T A B L A 3

A (s)	f (s)	f (v)	(b)	f (M)
3.0	1	3.0	4	12.0
16.0	4	64.0	3	192.0
41.0	2	82.0	2	164.0
61.0	4	244.0	1	244.0
80.0	2	160.0	0	+ 612.0
89.0	4	356.0	1	356.0
63.5	2	127.0	2	254.0
46.5	4	186.0	3	558.0
7.5	1	7.5	4	30.0

$$V = \frac{1}{3} \times 1229.5 \times 6.66 = \frac{1229.5}{35} = 77.99 \text{ Ton.} \quad \begin{array}{r} -1198 \\ 612 \\ -586 \end{array}$$

$$X = -\frac{586}{1229.5} \times 6.66 = -3.17$$

T A B L A 4

A (s)	f (s)	f (v)	(b)	f (M)
7.5	1	7.5	4	30.0
25.0	4	100.0	3	300.0
56.0	2	112.0	2	224.0
79.0	4	316.0	1	316.0
99.0	2	198.0	0	+1140
109.0	4	436.0	1	436.0
81.5	2	163.0	2	326.0
65.0	4	260.0	3	780.0
52.5	1	22.5	4	90.0

$$1615 \quad -1632$$

$$V = \frac{1}{3} \times 1615 \times 6.66 = \frac{3585.3}{35} = 102.44 \text{ Ton.} \quad \begin{array}{r} +1140 \\ -492 \end{array}$$

$$X = -\frac{492}{1615} \times 6.66 = -2.03$$

T A B L A 5

X	W	b	MWS II x III	V _s	d	e	b _{MVK}	MVS V x VI	MVK V x VIII	MVK ² II x VII
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
51'	87	31.38	2730.06	18.08	34.25	-29.9		619.24		-2601.3
75.3'	87	31.38	2730.06	55.56	34.15	- 4.8	1.85	1897.37	102.79	- 417.6
90.5'	87	31.38	2730.06	77.99	34.17	10.7	13.17	2664.93	1207.12	930.9
103.3'	87	31.38	2730.06	102.44	33.03	23.4	25.03	3383.59	2564.02	2035.8

T A B L A 6

	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
∇s	$N = W - \gamma \nabla s$	$(II)^{2/3}$	$\Sigma (IV)$	$k_1 \Delta x (V)$	e^{VI}	III.IV	$\Sigma VIII$	$k_2 \Delta_x (IX)$	$X_1^2 + (X)$	XI/VII	$X = \sqrt{(XII)}$	
.1	0	87.0	0	0	0	1	87	0	118.827	118.287	10.826	
.2	0.1	86.9	2.305	2.305	0.002	1.002	87.11	87.11	155.450	155.076	12.453	
.3	0.7	86.3	8.435	10.741	0.011	1.011	87.275	174.385	192.683	190.531	13.803	
.4	2.1	84.9	17.547	28.287	0.030	1.030	87.450	261.834	229.991	223.286	14.943	
.5	5.8	81.2	34.541	62.828	0.066	1.068	86.715	348.550	266.985	250.004	15.802	
.6	13.0	74.0	59.157	121.985	0.128	1.136	84.071	432.621	302.852	266.573	16.327	
.7	24.0	63.0	89.027	211.012	0.221	1.247	78.559	511.179	336.366	269.748	16.424	
.8	37.0	50.0	118.808	329.820	0.345	1.412	70.598	581.778	366.485	259.556	16.111	
.9	50.08	36.92	145.375	475.194	0.497	1.644	60.691	642.469	392.377	238.694	15.450	
.9	65.3	21.70	173.509	648.703	0.679	1.971	42.77	685.239	410.623	208.335	14.434	
	80	7	198.657	847.361	0.886	2.426	16.983	702.22	417.869	172.233	13.124	

T A B L A 7

S_4	V_4	t
ft.	ft/seg	seg.
10	10.106	0.97
20	9.715	1.98
30	9.339	3.03
40	8.978	4.122
50	8.631	5.258
100	7.087	11.661
200	4.778	28.957
300	3.221	54.612
500	1.464	149.107
1000	0.204	1.219.619
2000	0.004	

e) D I A G R A M A S

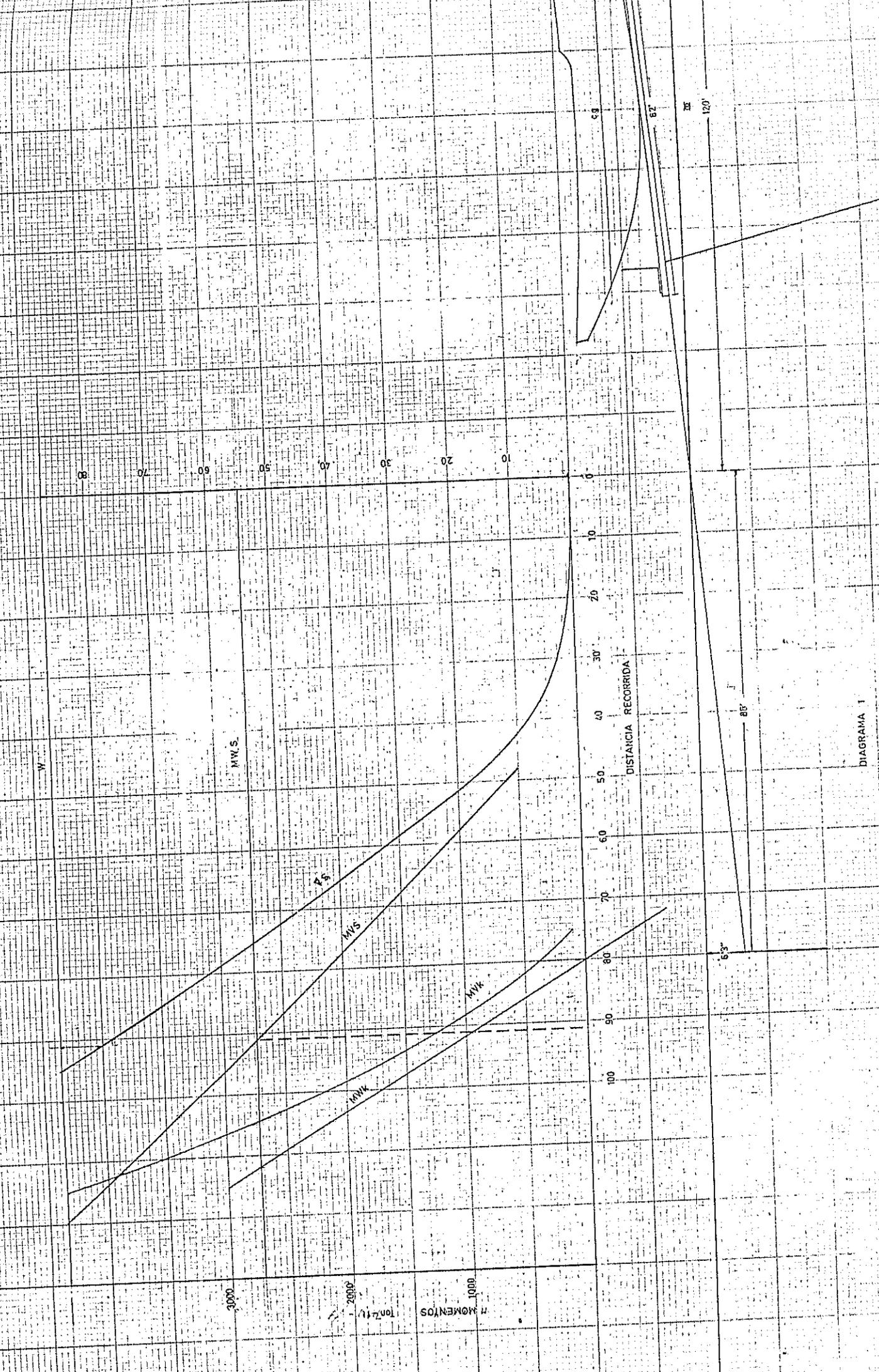


DIAGRAMA 1

V. ANALISIS DEL LANZAMIENTO LATERAL

a. DESCRIPCION GENERAL

Cuando las circunstancias lo hacen aconsejable, el lanzamiento puede efectuarse de costado, o sea, transversalmente al plano de simetría del buque. En este tipo de lanzamiento el recorrido es mucho más corto y la resistencia de la carena en la dirección del movimiento es tan enorme que el buque se detiene en un espacio muy reducido, aún sin emplear dispositivos de frenado.

En la construcción en series de buques en posición paralela a la orilla del río o ría, Figura N° 45, los cascos se trasladan horizontalmente sobre su cuna hasta ocupar el lugar del que ha sido lanzado; dejando un hueco en la parte interior sobre la que se comienza un nuevo casco; constituyendo así una cadena de producción.

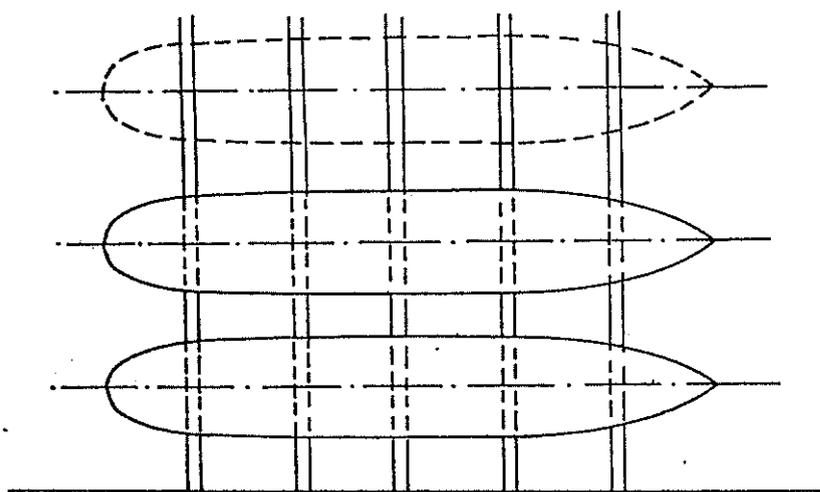


FIGURA N° 45

El lanzamiento de costado puede llevarse a cabo por uno de los sistemas siguientes:

1. Por deslizamiento

La cuna sobre la que apoya el buque transfiere el peso a una serie de anguilas transversales que deslizan sobre las correspondientes imadas, dispuestas con la inclinación conveniente, y que soportadas en una corta antegrada, penetran en el agua. El sistema es semejante al de lanzamiento longitudinal, variando el número de imadas y su dirección respecto al buque. La antegrada ha de estar bien cimentada y el buque apoya en la cuna hasta flotar. La cuna se construye en forma de cuña para que el casco permanezca adrizado y deslice paralelamente a sí mismo. No obstante, dada la velocidad que toma, al penetrar en el agua y quedar sometido a la gran resistencia que se opone a la carena, estando el c.g. a mayor altura, se establece un par que actúa sobre el casco, produciéndole una inclinación transversal, de la que se recuperará por su propia estabilidad al flotar libremente. Figura N° 46.

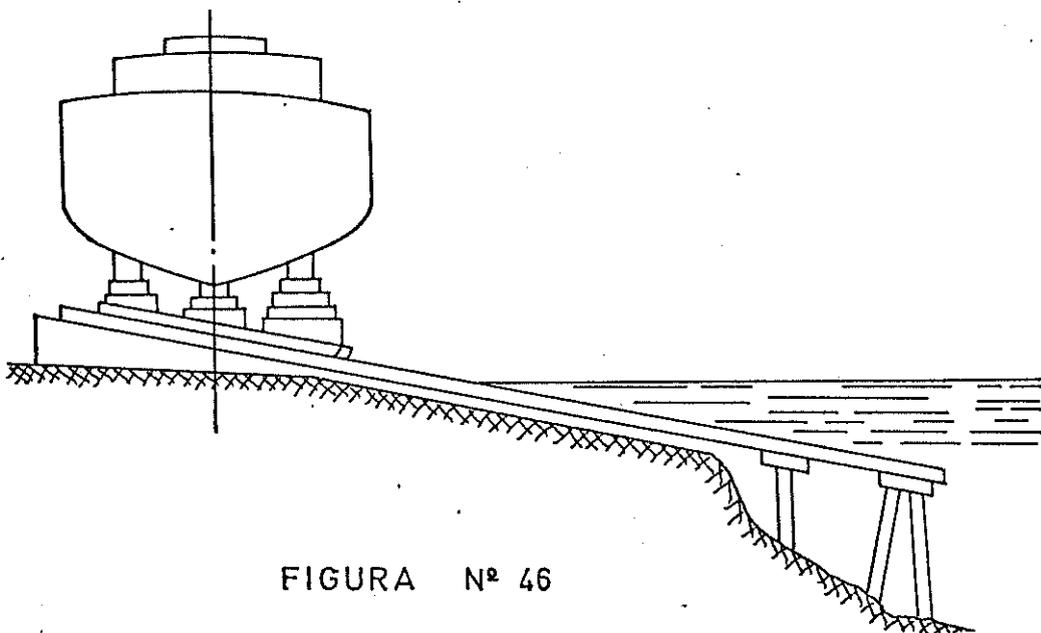


FIGURA N° 46

Este sistema requiere una antegrada, con lo que no se beneficia de una de las mayores ventajas que, como veremos a continuación, ofrece el lanzamiento transversal.

La pendiente del plano de deslizamiento ha de ser elevada,

con el fin de asegurar el movimiento del buque hasta que flote libremente, venciendo la gran resistencia que el agua opone al avance transversal del casco. De otro modo, podría presentarse una detención prematura con los problemas consiguientes.

2. Por giro sobre imadas fijas

La cuna sobre la que asienta el buque puede terminarse inferiormente con juegos de anguilas situadas longitudinalmente, paralelas a la quilla, que deslizarán apoyando cada tramo sobre dos o más imadas, ó, lo que es más frecuente, con anguilas transversales, cada una de las cuales desliza sobre la correspondiente imada. Estas imadas forman el camino fijo y en ambos casos se disponen en sentido transversal, terminando en la misma orilla de la grada a una altura sobre el nivel del agua que, generalmente, es inferior al metro, pero que en otros casos ha sido bastante mayor, alcanzando los tres o cuatro metros. Ambos sistemas se ven en la figura - N^o 47.

En este tipo de lanzamiento no hay antegrada sumergida y el casco resbala apoyado sobre el camino de deslizamiento hasta que, al rebasar su c.g. la vertical de la arista formada por los extremos de las imadas, inicia un giro cayendo hacia el agua, al tiempo que sigue su deslizamiento, apoyado en dicha arista, en una gran arfada controlada. La entrada en el agua se efectúa con una inclinación transversal que se acentúa aún más por el choque, alcanzando escoras importantes del orden de los 50° y 60°, para las que el buque ha de estar preparado y de la que se recupera por su propia estabilidad, produciendo un fuerte balanceo hacia el interior en el que se debe evitar que pueda dañarse contra la grada. Las tres últimas fases pueden agruparse, e incluso no existir la tercera.

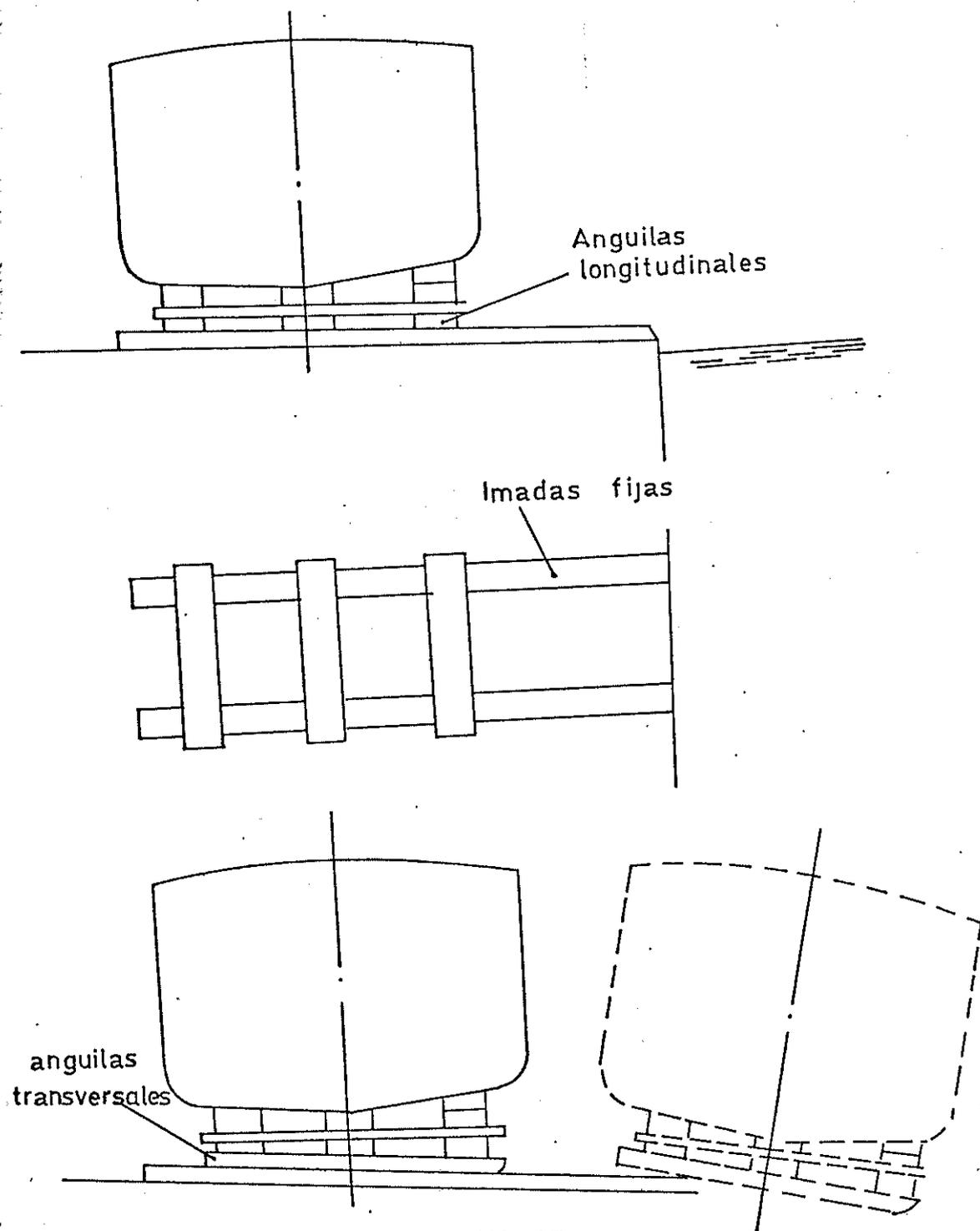


FIGURA N° 47

Siendo notables las cargas en la arista de apoyo durante el giro, el extremo de la grada debe estar especialmente reforzada para soportarlas.

3. Por giro sobre imadas basculantes

Esta variación del sistema anterior, muy utilizada para lanzamientos laterales en los Grandes Lagos y de particular u

tilidad cuando el extremo de la grada queda a bastante altura sobre el nivel del agua, con lo que se acentúa la caída del buque, se practica prolongando las imadas por fuera de la orilla, en un tramo que queda sin apoyo. La última pieza de imadas no está sujeta, de forma que, bajo la acción del peso del buque, basculan apoyadas en el borde de la grada, proporcionando durante el giro una guía al casco, cuyas anquilas siguen deslizando sobre ellas. Al mismo tiempo ofrecen una protección contra posibles golpes en la caída y en el balanceo de retorno. (Figura N° 48).

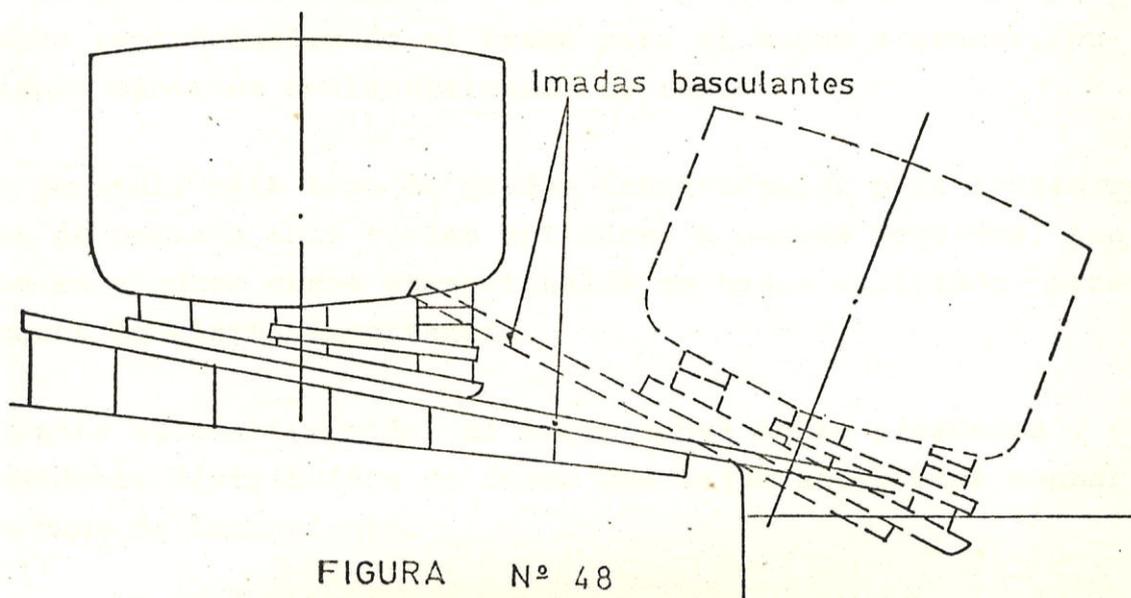


FIGURA N° 48

Con este sistema el buque efectúa su recorrido por deslizamiento apoyado, bascula guiado sobre las imadas y cae en el agua con inclinaciones notables, según la altura, con efectos muy espectaculares.

4. Dispositivos de lanzamiento

Cuando se efectúan los lanzamientos transversales, las gradas habrán de prepararse de acuerdo con el procedimiento que se adopte para dicho lanzamiento.

Cuando éste se realice por deslizamiento, la grada será inclinada transversalmente y tendrá que prolongarse por deba-

jo del agua en la antegrada correspondiente. En este caso es de aplicación cuanto se dijo anteriormente con la variante de que la antegrada tendrá que extenderse para soportar todos los apoyos de la cuna, lo que en general puede suponer una anchura próxima a la eslora del buque.

Cuando el lanzamiento se efectúa por basculamiento o caída, la grada tendrá también cierta pendiente, pero se elimina la antegrada.

Si se van a montar varios buques en paralelo, la grada solamente tendrá inclinado el tramo para el buque a lanzar, pudiendo mantener horizontalmente el resto.

En general, este tipo de gradas transversales para lanzamientos de costado solo suelen aplicarse a buques pequeños, aunque en algunos casos excepcionales se hayan utilizado para buques de cierta importancia.

Durante su construcción, el buque apoya sobre picaderos y almohadones distribuidos de forma que dejen sitio para montar la cuna de lanzamiento.

En función del peso del buque y de las presiones unitarias tolerables por las grasas utilizadas en el lanzamiento, las imadas se disponen del ancho y en número necesario para lograr la superficie de apoyo requerida. El número de ellas suele ser del orden de 15 a 25. Se construyen de grandes piezas de madera empernadas. En longitud se terminan de acuerdo con el sistema a emplear: Si es por deslizamiento, prolongadas por la antegrada; si es por giro sobre imadas fijas, terminando en el borde de la grada y si es por basculamiento se prolongan en voladizo, como hemos dicho, debiéndose preparar el apoyo para el basculamiento. En este caso, las imadas de los extremos, en los que se sitúan las llaves de retenida, se montan de tipo fijo, terminándolas en el borde de la grada.

Como medio de guía se utilizan, así mismo, las gualderas que vimos en lanzamiento longitudinal. Estas pueden situarse sobre las imadas o sobre las anguilas. En este último caso se colocan sobresaliendo hacia abajo, guiando a éstas en su deslizamiento sobre las imadas.

Las anguilas se construyen con grandes piezas de madera empernadas entre sí y sobre ellas se apoyan las cuñas y piezas que forman la cuna. El peso del buque se toma, igualmente, por ajuste de cuñas distribuídas uniformemente entre anguilas y calzos de cuna.

Como elementos de retención se utilizan generalmente llaves de tipo mecánico, parecida a la de la figura N^o 21. Habiendo varias de ellas y dada la longitud del buque, en este caso, más que en ninguno, es imprescindible lograr la simultaneidad de disparo.

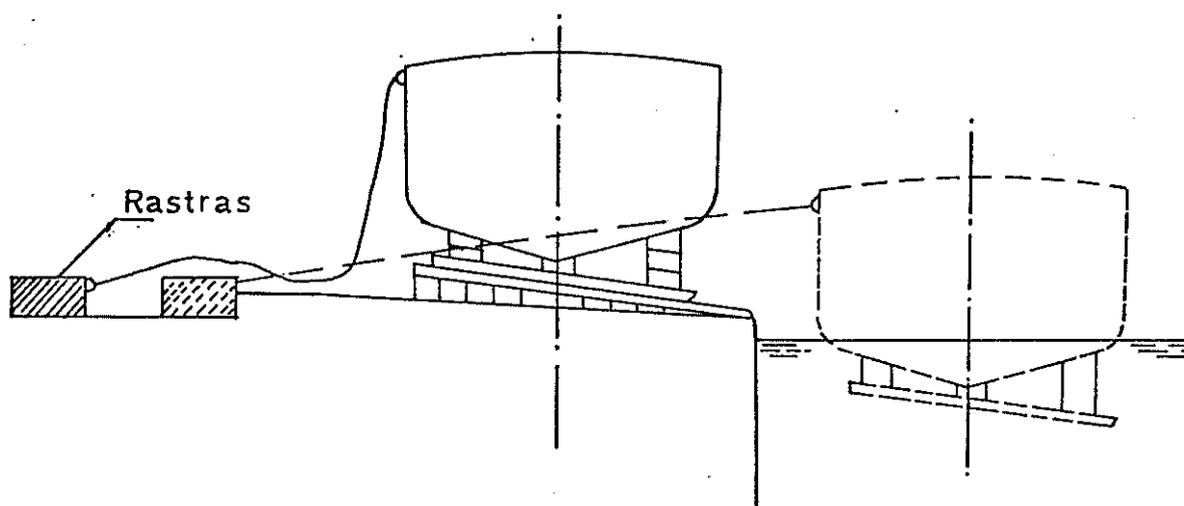
El proyecto de las llaves y cálculos de su número debe efectuarse basándose en la componente del peso en la dirección del movimiento, teniendo en cuenta la pendiente, que suele ser mayor que las empleadas en lanzamientos longitudinales, y prescindiendo de la componente de rozamiento.

Siendo importante que el buque se desplace paralelamente a sí mismo, arrancando simultáneamente y con la misma aceleración, tanto por su parte de proa como por popa, algunos astilleros ayudan el arranque con medios activos de empuje, tales como gatos hidráulicos o neumáticos, semejantes a las prensas de arranque, situándolos en ambos extremos, y aplicándoles la presión en el instante que precede al disparo de las llaves de retenida.

Los elementos de frenado pueden ser también necesarios. En un lanzamiento lateral, aunque ya hemos señalado que la resistencia hidrodinámica es muy grande, habrá casos, no obstante, en que el espacio disponible es tan reducido, que será

preciso el empleo de retenidas de frenado. En este caso, aun que la energía a absorber será proporcionalmente menor que en un lanzamiento longitudinal, el recorrido en que se han de aplicar será, en cambio, mucho más corto que en aquel y la fuerza de frenado podrá tomar valores importantes.

Se han utilizado con este fin, sistemas muy diversos, recurriéndose con frecuencia a los que ya hemos visto a base de rastras o roturas de bozas, debidamente adaptados. Una disposición posible es la que se indica en la figura N^o 49, que se explica por sí misma.

FIGURA N^o 49

b. ETAPAS DEL LANZAMIENTO LATERAL

1ª Etapa: Rotación de un extremo

En la primera etapa del lanzamiento lateral es importante de terminar las condiciones para el inicio del movimiento, la velocidad lineal al final de la primera etapa y la rotación de los extremos. A pesar de que el ángulo de inclinación de las imadas en los lanzamientos laterales es comunmente más grande que en los lanzamientos longitudinales, para simplificar las deducciones podemos asumir que:

$$\text{Sen } \beta \approx \text{tg } \beta \approx \beta$$

$$\text{Cos } \beta \approx 1$$

ya que el movimiento puede empezar por gravedad es necesario satisfacer la condición (IV-18), y la velocidad lineal x'_1 del centro de gravedad del buque al final de la primera etapa puede ser calculado por la fórmula (IV-22).

En la rotación de uno de los extremos, el giro del buque alrededor de un eje perpendicular al plano de las imadas puede ocurrir si las fuerzas por acción de los cuales el buque se mueve - en la primera etapa, constituyen un par actuando en ese plano. La componente del peso $W \text{ Sen } \beta$ debido a la cual el buque se mueve, es aplicado al centro de gravedad, la fuerza de inercia $W/g x''$ es aplicada también en el centro de gravedad. Si la resultante F_f de las fuerzas friccionales y cualquier otra fuerza de naturaleza casual, que tiende a impedir que el buque deslice en las vías, actúan en una sección transversal del buque no pasando por el centro de gravedad, existirá un par en operación que tenderá a girar el buque en el plano de imadas.

Entre las fuerzas de naturaleza casual que pueden entrar en acción tendientes a rotar el buque durante su recorrido en las vías, es necesario en primer lugar mencionar, la no simultaneidad en la liberación de los arreglos de lanzamientos al momento

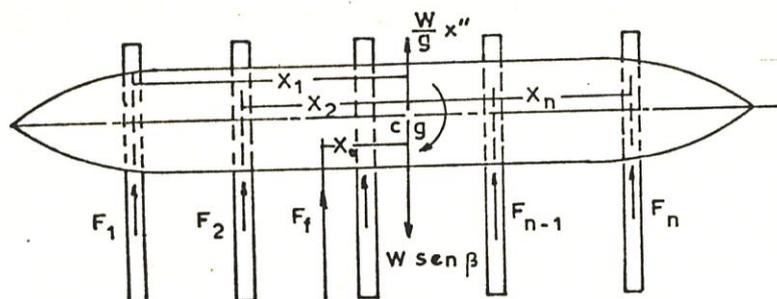


FIG. N° 50

inicial de la primera etapa, objetos extraños encontrados debajo de las anguilas, el desnivel de cualquiera de las imadas o anguilas. Estas fuerzas podrán ser eliminadas a base de un cuidadoso detalle de los arreglos de lanzamiento y una organización propia de la operación.

Aún cuando no hay fuerzas de naturaleza casual evitando el movimiento, existirán solamente fuerzas de fricción en operación, que pueden hacer que la resultante F_f de las fuerzas de fricción de las anguilas se encuentren en una sección transversal del buque a una distancia x desde el centro de gravedad.

El buque está entonces sujeto a un par con momento $F_f x$. - (Figura N° 50), que causará la rotación de uno de los extremos.

La magnitud del momento del par que hace posible la rotación depende de la distancia x . En la práctica es imposible realizar la condición de que el momento $F_f x$ sea igual a cero, por lo que es necesario intentar, tanto como sea posible, reducir la distancia x , y así disminuirá la magnitud del momento de rotación que estará siempre presente pero a un cierto límite. Escribiendo las ecuaciones diferenciales para la traslación y rotación para la primera etapa:

$$-\frac{W}{g} \cdot x'' + W \cdot \text{Sen } \beta - W \cdot \mu_D \cdot \cos \beta = 0$$

$$\text{en la que: } J = W \cdot \text{Sen } \beta \approx W \cdot \beta \quad E = \mu_D W \cos \beta \approx \mu_D W$$

$$\text{de donde: } -\frac{W}{g} x'' + J = E \quad (\text{traslación})$$

$$-I \omega'' + g F_f x = 0 \quad (\text{rotación})$$

En esta ecuación ω'' es la aceleración angular de rotación.

I es el momento de inercia de la masa del buque y la cuna alrededor de un eje perpendicular al plano de las imadas - que pasa por el centro de gravedad, y puede tomarse aproximadamente que el momento de inercia I es igual al momento de inercia I_y de la masa del buque alrededor del eje transversal.

Substituyendo los valores de J y E en la ecuación de movimiento y resolviéndolas por las aceleraciones, se obtiene:

$$-\frac{W}{g} x'' + W \beta = \mu_D W$$

$$x'' = g (\beta - \mu_D)$$

$$-I\omega'' + \mu_D \cdot W \cdot x = 0$$

$$\omega'' = \frac{W}{I} \times \mu_D g$$

Integrando dos veces, asumiendo que la velocidad inicial x'_0 y ω'_0 , el recorrido inicial x_0 y el ángulo inicial ω_0 son ceros, se obtiene

$$\frac{dx^2}{dt^2} = g (\beta - \mu_D)$$

$$\iint dx^2 = g (\beta - \mu_D) \iint dt^2$$

$$x = g (\beta - \mu_D) \frac{t^2}{2}$$

$$\frac{d\omega^2}{dt^2} = \frac{W}{I} \times \mu_D g$$

$$\iint d\omega^2 = g \cdot \frac{W}{I} \cdot x \cdot \mu_D \iint dt^2$$

$$\omega = \frac{W}{I} g \cdot x \cdot \mu_D \cdot \frac{t^2}{2}$$

ya que los dos movimientos tienen lugar simultáneamente, se elimina el tiempo de las dos expresiones y se obtiene la relación entre el ángulo ω y el recorrido X .

$$\frac{x}{g(\beta - \mu_D)} = \frac{\omega}{g \cdot \frac{W}{I} \cdot x \cdot \mu_D}$$

$$\omega = \frac{\frac{W}{I} \cdot x_0 \cdot \mu_D}{(\beta - \mu_D)} = \frac{x \cdot x_0}{\frac{I}{W} \left(\frac{\beta - \mu_D}{\mu_D} \right)}$$

$$\omega = \frac{x \cdot x_0}{\frac{I}{W} \left(\frac{\beta}{\mu_D} - 1 \right)}$$

Teniendo presente que: $\frac{I}{W} = \rho_z^2$

donde ρ_z es el radio de giro, se tiene

$$\omega = \frac{x \cdot x_0}{\rho_z^2 \left(\frac{\beta}{\mu_D} - 1 \right)} \quad (V-1)$$

La expresión (V-1) muestra que el ángulo de giro ω crece directamente con la distancia recorrida. Asignando el ángulo permisible de giro ω_1 al final de la primera etapa cuando $x=x_1$, se encuentra de la (V-1) que el brazo permisible x_p de la fuerza F_f con respecto al centro de gravedad es

$$x_p = \frac{\omega_1 \rho_z^2}{x_1} \left(\frac{\beta}{\mu_D} - 1 \right) \quad (V-2)$$

Para la determinación del brazo x_p se necesita el conocimiento de las fuerzas de fricción F_i para cada anguila.

Ya que las fuerzas de fricción dependen de la componente normal de la presión y el coeficiente de fricción depende de la presión unitaria, es necesario conocer la fracción del peso de lanzamiento para cada anguila. Teniendo la curva de pesos disponibles, este problema puede ser resuelto considerando al buque como una viga elástica apoyado sobre una base elástica, por los mismos métodos que son usados para encontrar las reacciones individuales de los bloques de quilla de un buque que se encuentra en un dique seco.

Señalando las reacciones individuales de las anguilas por R_1, R_2, \dots, R_N , las presiones unitarias son entonces expresadas como

$$p_1 = \frac{R_1 \cdot n}{L_0 \cdot b} \cos \beta$$

$$p_2 = \frac{R_2 \cdot n}{L_0 \cdot b} \cos \beta$$

$$p_n = \frac{R_n \cdot n}{L_0 \cdot b} \cos \beta$$

Donde $L_0 = L_1 + L_2$, es el largo de las anguilas y $\frac{b}{n}$ es el ancho de cada anguila.

Los coeficientes de fricción μ_{D_i} puede ser escrito en la siguiente forma:

$$\mu_{D_1} = f(p_1)$$

$$\mu_{D_2} = f(p_2)$$

$$\mu_{D_n} = f(p_n)$$

Señalando las distancias desde el centro de gravedad a los ejes de las anguilas por x_1, x_2, \dots, x_n , respectivamente, y las fuerzas de fricción para cada anguila por F_1, F_2, \dots, F_n , se obtiene la expresión para x_0 en la siguiente forma:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{D_i} R_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{D_i} R_i} \quad (V-3)$$

Si el coeficiente de fricción μ_{D_i} no estuviera dependiendo de la presión unitaria p_i y fuera la misma para todas las anguilas, sería posible sacar μ_D antes del sumatorio en el numerador y denominador de la expresión (V-3). Cancelando μ_D , se obtiene:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n R_i} = 0$$

Esta conclusión es válida a pesar de que en las vías la fuerza es distribuida sobre el largo, ya que las reacciones R_i son iguales a las componentes de las fuerzas de gravedad y los momentos de las fuerzas alrededor del centro de gravedad es siempre cero.

Si un lanzamiento es efectuado sobre dos anguilas, es suficiente separar las anguilas bajo el buque tal que el centro de gravedad esté a la mitad del espaciamento. Las reacciones de las anguilas en este caso son:

$$R_1 = R_2$$

y consecuentemente

$$p_1 = p_2, \quad \mu_{D_1} = \mu_{D_2} \quad \text{Y} \quad x_0 = 0$$

Se debe aclarar en este caso que:

$$W = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$Y \quad F_f = \sum_{i=1}^n F_i = \cos \beta \sum_{i=1}^n \mu_{D_i} \cdot R_i$$

El promedio del coeficiente de fricción μ_D se lo encontraría por sustitución en la ecuación (V-2) y que puede ser calculado por la fórmula:

$$\mu_D = \frac{F_f}{W} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (V-4)$$

Si el ángulo de giro es grande, entonces al comienzo de la segunda etapa cuando empieza el balanceo, la girada de los extremos del buque puede hacer que éste se sumerga tanto que entrará agua. Además, en este caso debido al balanceo pueden ser inducidas esfuerzos en el casco del buque del mismo orden como cuando el buque se encabeza o se asienta durante un lanzamiento longitudinal.

Cuando el ángulo de giro es pequeño, este fenómeno no implica peligro.

Es por esto necesario diseñar un lanzamiento tal que:

$$x_o < x_p$$

Donde x_p es calculado por la fórmula (V-2) con la base de que el ángulo permisible de giro ω_1 puede ser determinado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\omega_1 = \frac{\Delta b_a}{L_o}$$

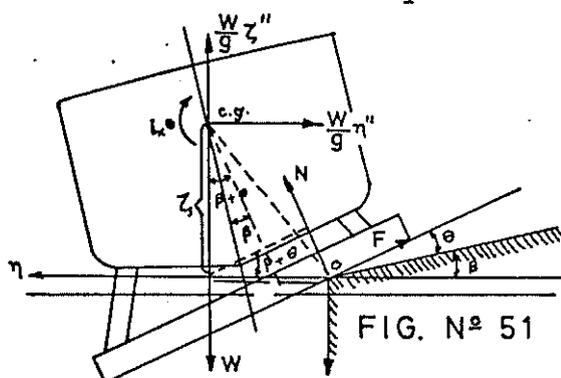
Donde Δb_a es la diferencia en los anchos de las imadas y anguilas, siendo el ancho de las anguilas la distancia entre las gualderas que encierran la superficie de grasa en ambos lados.

2ª Etapa: Balanceo

La segunda etapa del lanzamiento lateral no implica ningún peligro directo para el buque. Al mismo tiempo éste estudio es importante porque el movimiento del buque en la 2ª etapa de-

termina el movimiento en la tercera etapa con peligro directo para el buque al ser lanzado.

En el estudio del movimiento del buque en la segunda etapa es necesario referirnos al sistema de ecuación diferencial del movimiento e introduciremos un sistema fijo de coordenadas en el cual el movimiento será determinado. El origen es colocado en el borde superior de la antegrada. El eje 0ζ es tomado a lo largo de la línea vertical hacia abajo. El eje 0ξ a lo largo de la línea horizontal hacia adelante en la dirección del movimiento del buque y el eje 0η normal al plano formado por los otros ejes, siendo las componentes de la reacción de la antegrada: una componente F_h a lo largo de la superficie de las anguilas en contacto con las imadas y la otra componente N_i normal a ella.



Todas las fuerzas actuando sobre el buque son representadas en la Figura N° 51, escribiendo las ecuaciones diferenciales del movimiento del buque:

1. La suma de las proyecciones de todas las fuerzas sobre el eje 0ζ

$$-\frac{W}{g} \zeta'' - N_i \cos(\theta + \beta) - F_h \sin(\theta + \beta) + W = 0 \quad (V-5)$$

2. La suma de las proyecciones de todas las fuerzas sobre el eje 0ξ

$$-\frac{W}{g} \eta'' + N_i \sin(\theta + \beta) - F_h \cos(\theta + \beta) = 0 \quad (V-6)$$

3. La suma de los momentos de todas las fuerzas alrededor del origen.

$$-I_{x\theta}'' - \frac{W}{g} \zeta'' \eta + \frac{W}{g} \eta' \zeta + W\eta = 0 \quad (V-7)$$

En donde: I_x = momento de inercia de la masa del buque y arreglos de lanzamiento alrededor del eje longitudinal que pasa a través del centro de gravedad.

η y ζ = coordenadas del centro de gravedad en el sistema de coordenadas adoptadas.

η'' y ζ'' = proyección de la aceleración total del centro de gravedad sobre los ejes de coordenadas.

θ y θ'' = ángulo de inclinación del buque y aceleración angular respectivamente.

La fuerza de fricción F_f puede ser expresada en términos de los coeficientes de fricción μ_D y la reacción normal N_i como sigue:

$$F_f = \mu_D N_i \quad (V-8)$$

Escribiendo la ecuación de correlación directamente de la Figura N^o 51 es posible derivar la siguiente relación entre los ángulos y las coordenadas.

$$\eta \text{ Sen } (\theta + \beta) - \zeta \text{ cos } (\theta + \beta) = h_i \text{ cos } \beta \quad (V-9)$$

Donde h_i es la altura del centro de gravedad desde las imadas, en la figura es representado por el segmento GB.

Se tendrá entonces que para la determinación de cinco incógnitas η , ζ , θ , N_i y F_h se tendrán cinco ecuaciones desde la (V-1) hasta la (V-5) y la solución exacta es obtenible solamente por el método de integración numérica.

Aquí se considera una solución aproximada. Para obtener esta solución hagamos las siguientes asunciones:

1. Considerando las α y β como pequeños, nos permitirá reemplazar los senos por los α y los cosenos como la unidad, por lo tanto la ecuación (V-9) es entonces representada por

$$\eta (\theta + \beta) - \zeta = h_i \quad (V-10)$$

2. Los cálculos llevados a cabo por el método integración numérica muestra que para la tercera etapa la componente η' de la velocidad del centro de gravedad permanece casi constante e igual al valor de su componente al final de la primera etapa, de donde se tiene:

$$\eta' = x_1' \cos \beta \approx x_1' \quad (\text{V-11})$$

donde x_1' es calculado por la fórmula (IV-22)

Consecuentemente de la segunda asunción se tiene que:

$$\eta = x_1' \cdot t \quad (\text{V-12})$$

Escribiendo la ecuación (V-7) en la siguiente forma:

$$\frac{d}{dt} (\rho_x^2 \theta' + \zeta' \eta - \eta' \zeta) = g \eta \quad (\text{V-13})$$

donde $\rho_x = \sqrt{\frac{I_x g}{W}}$

es el radio de giro.

De la ecuación (V-10) se puede encontrar las siguientes relaciones

$$\zeta = \eta (\theta + \beta) - h_i \quad (\text{V-14})$$

$$\zeta' = \eta' (\theta + \beta) + \eta \theta' \quad (\text{V-15})$$

Eliminando las cantidades ζ y ζ' del lado izquierdo de la ecuación (V-13) utilizando las relaciones (V-14) y (V-15) y cancelando los términos semejantes se obtiene:

$$\eta = \frac{\zeta + h_i}{\theta + \beta}$$

$$\zeta' \eta = \eta' (\theta + \beta) \eta + \eta^2 \theta'$$

$$\zeta' \eta = \eta' (\theta + \beta) \left(\frac{\zeta + h_i}{\theta + \beta} \right) + \eta^2 \theta'$$

$$\zeta' \eta = \eta' \zeta + \eta' h_i + \eta^2 \theta'$$

$$\zeta' \eta - \eta' \zeta = \eta^2 \theta' + h_i \eta'$$

Sustituyendo esta relación en la ecuación (V-13)

$$\frac{d}{dt} (\rho_x^2 \theta' + \eta^2 \theta' + h_i \eta') = g \eta$$

Integrando se tiene:

$$(\rho_x^2 + \eta^2) \theta' + h_i \eta' = g \int_0^t \eta \, dt + C_1,$$

haciendo $t = 0$ se tiene $\theta' = 0$, $\eta' = x_1'$ $\cos = x_1'$ y entonces la constante de integración será:

$$C_1 = h_i x_1'$$

Pero con la segunda sunción (V-11) se cancelarían los términos $h_i x_1'$ y se tendrá:

$$(\rho_x^2 + \eta^2) \theta' = g \int_0^t \eta \, dt$$

Sustituyendo la ecuación (V-12) en esta expresión e integrando tendremos:

$$\rho_x^2 + (x_1' t)^2 \theta' = g \int_0^t x_1' t \, dt$$

$$\rho_x^2 + x_1'^2 t^2 \theta' = g \frac{x_1' t^2}{2}$$

Escribiendo esta expresión en la siguiente forma:

$$1 + \left(\frac{x_1' t}{\rho_x} \right)^2 \frac{d\theta}{dt} = \frac{g}{2x_1'} \left(\frac{x_1' t}{\rho_x} \right)^2 \quad (V-16)$$

Introduciendo una nueva varibale independiente adimensional

$$\tau = \frac{x_1' t}{\rho_x}$$

Entonces: $dt = \frac{\rho_x}{x_1'} d\tau$

Después de las sustituciones y transformaciones en la ecuación (V-16) se puede escribir que:

$$(1 + \tau^2) d\theta = \frac{g}{2x_1'} \tau^2 dt$$

$$d\theta = \frac{g}{2x_1'} \frac{\tau^2}{1+\tau^2} \frac{\rho_x}{x_1'} d\tau = \frac{g \rho_x}{2(x_1')^2} \frac{\tau^2}{1+\tau^2} d\tau$$

Integrando se tiene:

$$\bar{\theta} = \frac{g \rho_x}{2(x_1')^2} (\tau - \text{arc tg } \tau)$$

en donde la constante de integración es cero al momento inicial, ya que $t = 0, \tau = 0, \theta = 0$.

Sustituyendo el valor de τ se obtiene finalmente:

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2(x_1')^2} \left(\frac{x_1' t}{\rho_x} - \text{arc tg } \frac{x_1' t}{\rho_x} \right) \quad (\text{V-17})$$

Por lo tanto la solución aproximada es representada en la forma de un conjunto de tres ecuaciones (V-12), (V-14) y (V-17) que permiten que la posición del buque sea determinada en cualquier instante de tiempo.

Es también interesante la ecuación (V-16) que puede ser escrita en la siguiente forma:

$$\theta' = \frac{g}{2 x_1'} \frac{\left(\frac{x_1' t}{\rho_x} \right)^2}{1 + \left(\frac{x_1' t}{\rho_x} \right)^2} \quad (\text{V-18})$$

Esta expresión hace posible que la velocidad angular sea calculada como una función de tiempo. Por diferenciación se obtiene:

$$\theta'' = \frac{g}{\rho_x} \frac{\frac{x_1' \cdot t}{\rho_x}}{\left[1 + \left(\frac{x_1' t}{\rho_x} \right)^2 \right]^2} \quad (\text{V-19})$$

La ecuación (V-19) hace posible que la aceleración angular sea calculada como una función de tiempo.

Derivando ahora una fórmula aproximada para la reacción de la base N_i , se sustituye la ecuación (V-8) en la ecuación (V-5) y (V-6) y se obtendrá:

$$-\frac{W}{g} \zeta'' - N_i \text{Cos } (\theta + \beta) - \mu_D N_i \text{Sen } (\theta + \beta) + W = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{W}{g} \zeta'' &= W - N_i \left[\cos (\theta + \beta) + \mu_D \operatorname{sen} (\theta + \beta) \right] \\ - \frac{W}{g} \eta'' + N_i \operatorname{sen} (\theta + \beta) - \mu_D N_i \cos (\theta + \beta) &= 0 \\ \frac{W}{g} \eta'' &= N_i \left[\operatorname{sen} (\theta + \beta) - \mu_D \cos (\theta + \beta) \right] \end{aligned}$$

Considerando los ángulos θ y β y el coeficiente de fricción μ_D como pequeñas cantidades y descartando sus productos como pequeñas cantidades de elevado orden, se obtiene:

$$\frac{W}{g} \zeta'' = W - N_i \quad (V-20)$$

$$\frac{W}{g} \eta'' = N_i (\theta + \beta - \mu_D) \approx 0 \quad (V-21)$$

Se puede notar que la ecuación (V-21) resulta debido a que la velocidad η' es constante como fue asumido en la ecuación (V-11).

Sustituyendo en la (V-7) las expresiones (V-20) y (V-21) se obtiene:

$$- I_x \theta'' - (W - N_i) \eta + 0 + W \eta = 0$$

$$- I_x \theta'' - W \eta + N_i \eta + W \eta = 0$$

$$I_x \theta'' = N_i \eta$$

Por consiguiente se obtiene que:

$$N_i = \frac{I_x \theta''}{\eta}$$

Recordando que: $I_x = \frac{\rho^2_x \cdot W}{g}$

Se tendrá
$$N_i = \frac{W \cdot \rho^2_x \cdot \theta''}{g \eta}$$

Sustituyendo la (V-12) y (V-19) en esta expresión, después de las cancelaciones se tiene:

$$N_i = \frac{W \rho_x^2 \left\{ \frac{g}{\rho_x} \frac{x_1' \cdot t}{\rho_x} \left[1 + \left(\frac{x_1' \cdot t}{\rho_x} \right)^2 \right]^2 \right\}}{g x_1' \cdot t}$$

$$N_i = \frac{W}{\left[1 + \left(\frac{x_1' \cdot t}{\rho_x} \right)^2 \right]^2} \quad (V-22)$$

La ecuación (V-22) hace posible determinar aproximadamente la manera en que la reacción N_i de la antegrada varía con respecto al tiempo y nos indica además que decrece rápidamente con la variación del tiempo.

3ª Etapa: Inmersión

El máximo ángulo de inclinación debido al balanceo presenta el principal peligro en la tercera etapa ya que el buque puede virarse como una consecuencia de la pérdida de estabilidad o el extremo posterior de las anguilas pueden golpear el suelo.

La ecuación del movimiento de la tercera etapa puede ser derivada de la ecuación de la segunda etapa pero añadiendo los términos que toman en cuenta la presión de agua de la porción sumergida del buque, se puede escribir que:

$$- \frac{W}{g} \zeta'' - N_i \cos(\theta + \beta) - F_h \operatorname{sen}(\theta + \beta) + W - R_\zeta = 0 \quad (V-23)$$

$$- \frac{W}{g} \eta'' + N_i \operatorname{sen}(\theta + \beta) - F_h \cos(\theta + \beta) - R_\eta = 0 \quad (V-24)$$

$$- I_x \theta'' - \frac{W}{g} \zeta'' \eta + \frac{W}{g} \eta'' \zeta + W \eta - M \xi = 0 \quad (V-25)$$

donde: R_{ζ} = suma de las proyecciones de la presión del agua sobre el eje O_{ζ}

R_{η} = suma de las proyecciones de la presión del agua sobre el eje O_{η}

M_{ξ} = Suma de los momentos de la presión del agua sobre el eje O_{ξ} .

Las fuerzas R_{ζ} y R_{η} y el momento M_{ξ} son funciones de los desplazamientos ζ , η y θ , las velocidades ζ' , η' y θ' , las aceleraciones ζ'' , η'' y θ'' y solamente pueden ser calculadas de una manera.

Además de las tres ecuaciones del movimiento para la tercera etapa se tiene la ecuación para la fuerza de fricción (V-8) y la ecuación de correlación (V-9). Se tendrá entonces cinco ecuaciones con cinco incógnitas que pueden ser resueltas solamente por los métodos de integración numérica.

Se puede encontrar la solución aproximada procediendo en la misma manera como en la resolución del sistema de ecuaciones en la segunda etapa. Manteniendo la primera asunción de la pequeñez de los ángulos de inclinación que llega a las dos relaciones (V-14) y (V-15). En cambio la segunda asunción, de que la velocidad era constante, no es posible realizar debido a la presencia de la resistencia del agua, reemplazando esta asunción por la solución aproximada de la ecuación (V-24).

Sustituyendo (V-8) en (V-24), después de las transformaciones se obtiene:

$$-\frac{W}{g} \eta'' + N_i \sin(\theta + \beta) - \mu_D \cdot N_i \cdot \cos(\theta + \beta) - R_{\eta} = 0$$

$$\frac{W}{g} \eta'' - N_i \left[\sin(\theta + \beta) - \mu_D \cos(\theta + \beta) \right] + R_{\eta} = 0$$

Aunque la velocidad η' no es constante podemos asumir que el segundo término del lado izquierdo de esta ecuación es igual

a cero como se obtuvo en la segunda etapa, por lo tanto, obtenemos:

$$\frac{W}{g} \eta'' = - R_{\eta} \quad (V-26)$$

Escribiendo ahora una expresión aproximada para R_{η} , esto es:

$$R_{\eta} = \frac{dB_{\eta}}{dt} + R_1$$

En la que B_{η} es la proyección del vector fuerza resultante de los impulsos de presión sobre el eje $O\eta$, y como es conocido en la hidromecánica puede ser obtenido a partir de la ecuación de la energía cinética del fluido en un movimiento plano.

Por lo tanto:

$$B_{\eta} = \Delta M \cdot \eta' + \Delta M_{yz} \cdot \xi' + \Delta M_{ye} \cdot \theta' \approx \Delta M_y \cdot \eta'$$

donde: ΔM = masa añadida, ya que en esta expresión el primer término de la tercera etapa es, en la práctica mucho más grande que el segundo y el tercer término por lo que estos términos pueden ser despreciados.

El segundo término R_1 de la expresión para R_{η} representa la resistencia al movimiento horizontal del buque y puede ser escrito aproximadamente como:

$$R_1 \approx C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2$$

donde: C_a = coeficiente de resistencia adimensional, cantidad cercana a 1.0

ρ = densidad del agua.

A_d = área sumergida del plano diametral, que es función del desplazamiento vertical del buque.

Se puede escribir ahora que:

$$R_{\eta} = \Delta M_Y \eta'' + \frac{d \Delta M_Y}{dt} \eta' + C_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_d \eta'^2$$

Transformando el segundo término de ésta expresión como sigue:

$$\frac{d \Delta M_Y}{dt} \eta' = \frac{d \Delta M_Y}{dt} \eta' \cdot \frac{\eta}{\frac{d\eta}{dt}} = \frac{d \Delta M_Y}{dt} \eta'^2 \frac{dt}{d\eta}$$

$$\frac{d \Delta M_Y}{dt} \eta' = \frac{d \Delta M_Y}{d\eta} \eta'^2$$

Se obtiene finalmente que:

$$R_{\eta} = \Delta M_Y \eta'' + \left(C_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_d + \frac{d \Delta M_Y}{d\eta} \right) \eta'^2 \quad (V-27)$$

Sustituyendo (V-27) en (V-24), después de las transformaciones se obtendrá:

$$\begin{aligned} \frac{W}{g} \eta'' &= - \left[\Delta M_Y \eta'' + \left(C_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_d + \frac{d \Delta M_Y}{d\eta} \right) \eta'^2 \right] \\ \frac{W}{g} \eta'' + \Delta M_Y \eta'' &= - \left(C_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_d + \frac{d \Delta M_Y}{d\eta} \right) \eta'^2 \\ \eta'' &= - \frac{C_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_d + \frac{d \Delta M_Y}{d\eta}}{\frac{W}{g} + \Delta M_Y} \eta'^2 \end{aligned} \quad (V-28)$$

Teniendo en cuenta que debido a una gradual inmersión del buque en la tercera etapa A_d y ΔM_Y son funciones del tiempo y que el momento inercial de la tercera etapa $t = 0$, $A_d = 0$, $\Delta M_Y = 0$, $\eta = \eta_2$ y $\eta' = \eta'_2$, y que la velocidad al final de la segunda etapa se obtiene del primer integral de la ecuación (V-28) en la siguiente forma:

$$\eta' = \frac{\eta'_2}{1 + \frac{\Delta M_Y \cdot g}{W}} e^{-C_a \cdot \frac{\rho}{2} \int_{\eta_2}^{\eta} \frac{A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_Y} d\eta} \quad (V-29)$$

Colocando el valor medio del valor a integrarse antes del signo de integración y resolviendo se obtiene:

$$\frac{A_{d_m}}{\frac{W}{g} + \Delta M_m} = \frac{1}{2} \frac{A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_y}$$

$$\eta' = \frac{\eta_2'}{1 + \frac{\Delta M_y g}{W}} e^{-C_a \frac{\rho}{4} \frac{A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_y} (n - \eta_2)} \quad (V-30)$$

Encontrando el valor medio de la velocidad lineal tomándolo como:

$$\eta'_m = \frac{1}{2} (\eta_2' + \eta') \quad (V-31)$$

Sustituyendo (V-30) en (V-31) se obtiene la expresión para la velocidad media (η'_m).

$$\eta'_m = \frac{1}{2} \left[\eta_2' + \frac{\eta_2'}{1 + \frac{\Delta M_y g}{W}} e^{-C_a \frac{\rho}{4} \frac{A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_y} (n - \eta_2)} \right]$$

Llamando: $k = \frac{\Delta M_y g}{W}$ y $n = \frac{C_a}{4} \gamma \frac{A_d}{1+k}$

$$\eta'_m = \frac{\eta_2'}{2} \left[1 + \frac{e^{-n(n - \eta_2)}}{1+k} \right] \quad (V-32)$$

La distancia recorrida es determinada por:

$$n = \eta_2' + \eta'_m t \quad (V-33)$$

donde η_2 es la distancia recorrida en la segunda etapa y t es el tiempo de la tercera etapa.

Resolviendo ahora aproximadamente la ecuación (V-25), procediendo de la misma manera como en la solución de la ecuación (V-7) y utilizando la primera asunción de la pequeñez de ángulos, podemos decir que:

La ecuación de correlación quedará:

$$\eta(\theta + \beta) - \zeta = h_i$$

Siendo el radio
$$\rho_x = \sqrt{\frac{I_x \cdot g}{W}}$$

Dividiendo la ecuación (V-25) para g/W se tendrá:

$$-\frac{I_x \cdot g \cdot \theta''}{W} - \zeta'' \eta + \eta'' \zeta + g \eta - \frac{g}{W} M_\xi = 0$$

$$\rho_x^2 \theta'' + \zeta'' \eta - \eta'' \zeta - g \eta + \frac{g}{W} \cdot M_\xi = 0$$

$$\frac{d}{dt} (\rho_x^2 \theta' + \zeta' \eta - \eta' \zeta) = g \eta - \frac{g}{W} M_\xi = 0$$

Utilizando la expresión que dice:

$$\zeta' \eta - \eta' \zeta = \eta^2 \theta' + h_i \eta'$$

se obtiene:

$$\frac{d}{dt} (\rho_x^2 \eta' + \eta^2 \theta' + h_i \eta') = g \eta - \frac{g}{W} M_\xi = 0$$

Integrando tendremos:

$$(\rho_x^2 + \eta^2) \theta' + h_i \eta' = g \int_0^t \eta dt - \frac{g}{W} \int_0^t M_\xi dt + C_1 \quad (V-34)$$

De la relación (V-33) se obtiene:

$$dt = \frac{d\eta}{\eta'_m}$$

La primera integral del lado derecho de la ecuación (V-34) es transformada como sigue:

$$g \int_0^t n dt = \frac{g}{n'_m} \int_{\eta_2}^{\eta} n d\eta = \frac{g}{2 n'_m} (n^2 - n_2^2) \quad (V-35)$$

En el comienzo de la tercera etapa a $t = 0$ se tiene $n = n_2$; $n' = n'_2$; $\theta = \theta_2$ y $\theta' = \theta'_2$ entonces de (V-34):

$$(\rho_x^2 + n^2) \theta'_2 = h_i n'_2 = 0 - 0 + C_1$$

$$C_1 = (\rho_x^2 + n_2^2) \theta'_2 + h_i n'_2 \quad (V-36)$$

Además, de (V-31) se puede obtener:

$$n' = 2 n'_m - n'_2 \quad (V-37)$$

Sustituyendo (V-35), (V-36) y (V-37) en (V-34), dividiendo todos los términos de la ecuación para ρ_x^2 :

$$(\rho_x^2 + n^2) \theta' + 2h_i n'_m - h_i n'_2 = \frac{g}{2n'_m} (n^2 - n_2^2) - \frac{g}{W} \int_0^t M_\xi dt + (\rho_x^2 + n_2^2) \theta'_2 + h_i n'_2$$

$$(1 + \frac{n^2}{\rho_x^2}) \theta' = \frac{2h_i n'_2}{\rho_x^2} - \frac{2h_i n'_m}{\rho_x^2} + \frac{g}{2n'_m \rho_x^2} (n^2 - n_2^2) + (1 + \frac{n_2^2}{\rho_x^2}) \theta'_2 - \frac{g}{W \rho_x^2} \int_0^t M_\xi dt$$

$$(1 + \frac{n^2}{\rho_x^2}) \theta' = \frac{2h_i n'_2}{\rho_x^2} - \frac{2h_i n'_m}{\rho_x^2} + \frac{g n^2}{2n'_m \rho_x^2} - \frac{g n_2^2}{2n'_m \rho_x^2} + \theta'_2 + \frac{n_2^2}{\rho_x^2} \theta'_2 - \frac{g}{W \rho_x^2} \int_0^t M_\xi dt$$

Haciendo: $C_2 = \theta'_2 + \frac{2h_i}{\rho_x^2} (n'_2 - n'_m) + \frac{n_2^2}{\rho_x^2} (\theta'_2 - \frac{g}{2n'_m})$ se tendrá entonces:

$$(1 + \frac{n^2}{\rho_x^2}) \theta' = \frac{g n^2}{2n'_m \rho_x^2} + C_2 - \frac{g}{W \rho_x^2} \int_0^t M_\xi dt \quad (V-38)$$

Al comienzo de la tercera etapa $\eta_m' = \eta_2'$ entonces:

$$C_2 = \theta_2' + \frac{\eta_2'^2}{\rho_x} \left(\theta_2' - \frac{g}{2 \eta_2'} \right)$$

Teniendo en cuenta que al comienzo de la tercera etapa es el mismo tiempo que el final de la segunda etapa tendremos:

$$\eta_2' = x_1'$$

$$\frac{x_1' t_2}{\rho_x} = \frac{\eta_2'}{\rho_x}$$

De la ecuación (V-16) tenemos que:

$$\left[1 + \frac{(\eta_2')^2}{\rho_x} \right] \theta_2' = \frac{g}{2 \eta_2'} \left(\frac{\eta_2'}{\rho_x} \right)^2 \therefore \theta_2' + \frac{(\eta_2')^2}{\rho_x} \theta_2' - \frac{(\eta_2')^2}{\rho_x} \cdot \frac{g}{2 \eta_2'} = 0$$

Por lo tanto:

$$C_2 = 0$$

De la (V-32) se observa que durante la tercera etapa.

$$\eta_m' < \eta_2'$$

Con estas observaciones el segundo término sobre el lado derecho de la expresión para C_2 será un poco más pequeña y el tercer término será un poco más grande. Asumiendo que la suma y la resta se anulan una con otra, se toma para la tercera etapa.

$$C_2 = 0$$

Introduciendo ahora una variable adimensional τ_1 :

$$\tau_1 = \frac{\eta}{\rho_x} = \frac{\eta_2}{\rho_x} + \frac{\eta_m' \cdot t}{\rho_x} \quad (V-39)$$

Resolviendo (V-38) para θ' y usando la relación (V-39) se obtiene:

$$(1 + \tau_1^2) \theta' = \frac{g}{2 \eta_m} \tau_1^2 + 0 - \frac{g}{W \rho_x^2} \int_0^t M_\xi dt$$

$$\theta' = \frac{g}{2 \eta_m} \frac{\tau_1^2}{1 + \tau_1^2} - \frac{g}{W \rho_x^2} \frac{1}{(1 + \tau_1^2)} \int_0^t M_\xi dt \quad (V-40)$$

Comparando la expresión (V-40) con la expresión (V-18) se observa que hay un término adicional en la expresión (V-40). Este término aumenta con el tiempo y así reduce la velocidad θ' . Determinando el último término de la ecuación (V-40) se tendrá:

$$M_\xi = \frac{dI_\theta}{dt} - R_1 r_1 + R_2 r_2 + M_\theta + \gamma V(\eta + \lambda) \quad (V-41)$$

Donde I_θ es la proyección del vector resultante de los momentos de presión actuando sobre el eje 0ξ . Por la hidrodinámica, esta cantidad puede ser obtenida a partir de la ecuación de la energía cinética y despreciando los términos pequeños tenemos que:

$$I_\theta \approx \Delta M_z \zeta' \eta_1$$

Tomando en cuenta la siguiente relación cinemática entre las velocidades

$$\frac{\eta}{\theta} \approx \frac{\eta'}{\theta'}$$

de donde:

$$\eta' = \theta' \frac{\eta}{\theta}$$

Substituyendo η' en la fórmula (V-15) y teniendo en cuenta que $\theta > \beta$ en la tercera etapa, se obtiene la siguiente expresión aproximada:

$$\begin{aligned}\zeta' &= \theta' \frac{\eta}{\theta} (\theta + \beta) + \eta \theta' \\ \zeta &\approx 2 \eta \theta'\end{aligned}\tag{V-42}$$

Después se obtiene finalmente:

$$\begin{aligned}I_{\theta} &\approx \Delta M_z (2\eta \theta') \eta \\ I_{\theta} &\approx 2 \Delta M_z \eta^2 \theta'\end{aligned}\tag{V-43}$$

El segundo término del lado derecho de la expresión (V-41) representa el momento de la resistencia R_1 al movimiento horizontal calculado alrededor de la antegrada. La expresión aproximada para R_1 ha sido escrita anteriormente, y r_1 es el brazo de la fuerza R_1 con respecto a la antegrada.

$$R_1 \approx C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2$$

El tercer término de la expresión (V-41) representa el momento de la resistencia R_2 a la inmersión vertical calculada alrededor de la antegrada, esta fuerza puede ser escrita como:

$$R_2 \approx C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2$$

y r_2 es el brazo de la fuerza R_2 con respecto a la antegrada que puede ser tomada aproximadamente como:

$$r_2 \approx \eta$$

donde C_{ζ} = coeficiente de resistencia cercana a 1.0

ρ = densidad del agua

S_M = área del plano de agua, que es función de la parte sumergida del buque.

El cuarto término de la expresión (V-41) representa el momento M_{θ} de la resistencia a la rotación alrededor de un eje longitudinal que pasa por el centro de gravedad del buque, esto es,

el balanceo.

El quinto término de la expresión (V-41) representa el momento, tomando alrededor de la antegrada, de la boyantez γV que es una función de la inmersión del buque, ℓ es el brazo de estabilidad estática y $\eta + \ell$ es el brazo de la fuerza W con respecto a la antegrada, con $\eta > \ell$.

El segundo y cuarto término aparecen en la expresión (V-41) con signos opuestos y son en la práctica cantidades del mismo orden, de aquí, que para simplificar el problema se desprecian estos términos simultáneamente.

Entonces:

$$M_{\xi} \approx \frac{dI_{\theta}}{dt} + C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2 \eta + \gamma V \eta \quad (V-44)$$

Procediendo a la evaluación del integral

$$\int_0^t M_{\xi} dt = I_{\theta} + C_{\zeta} \frac{\rho}{2} \int_0^t S_M \zeta'^2 \eta dt + \int_0^t \gamma V \eta dt \quad (V-45)$$

Transformando el lado derecho y teniendo en cuenta que:

$$\zeta' dt = d\zeta$$

y usando la relación (V-42) se tiene:

$$\int_0^t S_M \zeta'^2 \eta dt = \int_0^t S_M (\zeta' dt) \zeta' \eta = \int_{\zeta_2}^{\zeta_1} S_M (d\zeta) (2\eta \theta')_{\eta} = 2 \int_{\zeta_2}^{\zeta_1} S_M \eta^2 \theta' d\zeta$$

Colocando el producto $\eta \theta'$ antes del signo integral y reemplazándolo por su valor medio.

$$\eta^2 \theta'_{\text{m}} = \frac{1}{2} (\eta^2 \theta'_1 + \eta^2 \theta'_2)$$

Se obtiene:

$$\int_0^t S_M \zeta'^2 n dt = \frac{2}{2} (\eta^2 \theta' + \eta_2^2 \theta_2') \int_{\zeta_2}^{\zeta} S_M d\zeta = (\eta^2 \theta' + \eta_2^2 \theta_2') V \quad (V-46)$$

Transformando el segundo integral del lado derecho de la ecuación en (V-45), y usando la relación (V-33). Relacionando η_m' y V_m antes del signo integral y tomando V_m como la mitad del valor final.

$$V_m = \frac{V}{2}, \quad \eta = \eta_2 + \eta_m' t$$

$$\int_0^t V n dt = \frac{V}{2} \frac{1}{\eta_m'} \int_{\eta_2}^{\eta} n d\eta = \frac{V}{2\eta_m'} \frac{(\eta^2 - \eta_2^2)}{2}$$

$$\int_0^t V n dt = \frac{V}{4\eta_m'} (\eta^2 - \eta_2^2) \quad (V-47)$$

Sustituyendo (V-43), (V-46) y (V-47) en la expresión (V-45) y tomando en cuenta la relación (V-39) se puede escribir:

$$\frac{g}{W \rho_x^2} \int_0^t M_{\xi} dt = \frac{g}{2\eta_m'} (b \theta' \tau_1^2 + a_1 \tau_1^2 + a_2) \quad (V-48)$$

$$b = \frac{C_r' \rho V + 4 \Delta M_z}{W} \eta_m'$$

$$a_1 = \frac{1}{2} \frac{\gamma V}{W}$$

$$a_2 = \frac{\eta_2^2}{\rho_x^2} \frac{\gamma V}{2W} \left(\frac{2 C_r' \eta_m' \eta_2^2}{g} - 1 \right)$$

(V-49)

Sustituyendo la expresión (V-48) en (V-40) se obtiene:

$$\theta' = \frac{g}{2\eta_m'} \cdot \frac{\tau_1^2}{1 + \tau_1^2} - \frac{1}{1 + \tau_1^2} \cdot \frac{g}{2\eta_m'} (b \theta' \tau_1^2 + a_1 \tau_1^2 + a_2)$$

$$(1 + \tau_1^2) \theta' = \frac{g}{2\eta_m} \left[(1 - a_1) \tau_1^2 - b \theta' \tau_1^2 - a_2 \right] \quad (V-50)$$

Resolviendo la igualdad (V-50) para θ' , se encuentra que:

$$(1 + \tau_1^2) \theta' + \frac{g}{2\eta_m} b \tau_1^2 \theta' = \frac{g}{2\eta_m} \left[(1 - a_1) \tau_1^2 - a_2 \right]$$

$$\theta' \left(1 + \tau_1^2 + \frac{g}{2\eta_m} b \tau_1^2 \right) = \frac{g}{2\eta_m} \left[(1 - a_1) \tau_1^2 - a_2 \right]$$

$$\theta' \left[1 + \tau_1^2 \left(1 + \frac{g}{2\eta_m} b \right) \right] = \frac{g}{2\eta_m} \left[(1 - a_1) \tau_1^2 - a_2 \right]$$

$$\theta' = \frac{g}{2\eta_m} \frac{\left[(1 - a_1) \tau_1^2 - a_2 \right]}{\left[1 + \tau_1^2 \left(1 + \frac{g}{2\eta_m} b \right) \right]} \quad (V-51)$$

La ecuación (V-51) representa el valor aproximado de la primera integral de la ecuación (V-25). Encontrando el valor aproximado de la segunda integral de la ecuación (V-25) quedará la ecuación (V-50) como:

$$(1 + \tau_1^2) \theta' = \frac{g}{2\eta_m} \left[(1 + \tau_1^2) - (a_1 + b\theta') (1 + \tau_1^2) - 1 + (a_1 + b\theta' - a_2) \right]$$

Tomando en cuenta que la velocidad angular θ' puede estar representada en forma de producto por la (V-39).

$$\tau_1 = \frac{\eta_2}{\rho_x} + \frac{\eta_m' t}{\rho_x}$$

$$d\tau_1 = \frac{\eta_m'}{\rho_x} dt \quad \therefore dt = \frac{\rho_x}{\eta_m'} d\tau_1$$

$$\theta' = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{d\tau_1} \frac{\eta_m'}{\rho_x}$$

Sustituyendo θ' en el lado izquierdo de la ecuación transformada (V-50). El segundo integral es entonces dado por:

$$(1 + \tau_1)^2 \frac{d\theta}{d\tau_1} \frac{\eta_m'}{\rho_x} = \frac{g}{2 \eta_m'} \left[(1 + \tau_1^2) - (a_1 + b\theta') (1 + \tau_1^2) - 1 + (a_1 + b\theta' - a_2) \right]$$

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2 \eta_m'} \left[\int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} d\tau_1 - \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} (a_1 + b\theta') d\tau_1 - \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} \frac{d\tau_1}{1 + \tau_1^2} + \right.$$

$$\left. + \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} (a_1 + b\theta' - a_2) \frac{d\tau_1}{1 + \tau_1^2} \right] + C$$

Haciendo: $\tau_1 = \frac{\eta_2}{\rho_x}$; $\theta = \theta_2$ se obtiene: $C = \theta_2$

Las funciones $(a_1 + b\theta')$ y $(a_1 + b\theta' - a_2)$ aumentan continuamente desde el valor cero así como τ_1 varía desde el límite más bajo de integración hasta el límite superior, por esto, se pueden reemplazar estos valores por sus valores medios:

$$(a_1 + b\theta')_m = \frac{1}{2} (a_1 + b\theta')$$

$$(a_1 + b \theta' - a_2)_m = \frac{1}{2} (a_1 + b \theta' - a_2)$$

Colocando estos valores antes del signo integral se tendrá:

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2 \eta_m'^2} \left[\int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} d\tau_1 - \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} \frac{1}{2} (a_1 + b\theta') d\tau_1 - \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} \frac{d\tau_1}{1+\tau_1^2} + \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} \frac{1}{2} (a_1 + b\theta' - a_2) \frac{d\tau_1}{1+\tau_1^2} \right] + \theta_2$$

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2 \eta_m'^2} \left\{ \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta') \right] \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} d\tau_1 - \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta' - a_2) \right] \int_{\frac{\eta_2}{\rho_x}}^{\tau_1} \frac{d\tau_1}{1+\tau_1^2} \right\} + \theta_2$$

Integrando se tiene:

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2 \eta_m'^2} \left\{ \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta') \right] \left[\tau_1 - \frac{\eta_2}{\rho_x} \right] - \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta' - a_2) \right] \left[\arctg \tau_1 + \arctg \frac{\eta_2}{\rho_x} \right] \right\} + \theta_2$$

(V-52)

Teniendo en cuenta que para el final de la segunda etapa cuando $t = t_2$; $X_1' t_2 = \eta_2$ y $\theta = \theta_2$, de la relación (V-17) se obtiene:

$$\frac{\eta_2}{\rho_x} - \arctg \frac{\eta_2}{\rho_x} = \theta_2 \cdot \frac{2 X_1'^2}{g \rho_x}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (V-52) se obtiene:

$$\theta = \frac{g \rho_x}{2 \eta_m'^2} \left\{ \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta') \right] \tau_1 - \left[1 - \frac{1}{2} (a_1 + b\theta' - a_2) \right] \arctg \tau_1 \right\} + \theta_2 \left(1 - \frac{X_1'^2}{\eta_m} \right) \quad (V-53)$$

La expresión (V-53) es el valor aproximado del segundo integral de la ecuación (V-25).

El conjunto de fórmulas (V-32), (V-33), (V-49), (V-51) y (V-53) hacen posible obtener un cuadro aproximado del movimiento

to del buque en la tercera etapa. Sí:

$$A_d = V = \Delta M_y = \Delta M_z = 0$$

$$y \quad \eta'_m = x'_1$$

Las fórmulas (V-51) y (V-53) se reducen, respectivamente, en las fórmulas (V-18) y (V-17) de la segunda etapa.

Los coeficientes de masa añadida ΔM_y y ΔM_z pueden ser calculados por las siguientes fórmulas aproximadas:

$$\Delta M_y = \frac{2}{3} \rho V \frac{A_d}{S_M} \quad (V-54)$$

$$\Delta M_z = \frac{1}{2} \rho V \frac{S_M}{A_d} \quad (V-55)$$

En estas expresiones como en las anteriores, S_M es el área del plano de agua, A_d es el área de las proyecciones de la porción sumergida de la superficie del buque en un plano perpendicular al plano de agua y ρ es la densidad. Además puede ser considerado que $C_a = C_c = 1$ en las fórmulas (V-32) y (V-49). El cálculo del movimiento del buque en la tercera etapa es realizado en el siguiente orden. Los valores de S_M , A_d y V son primero graficados en relación a η y θ que pueden ser hechas cuando el plano del buque y el plano de los arreglos de lanzamiento se tienen. Pero asignando un cierto valor a η y dando varios valores a θ , se determina la posición del buque con referencia al nivel del agua de la ecuación de correlación (V-14). El siguiente paso próximo, es tomar del plano del buque las correspondientes ordenadas y determinando las áreas de la porción sumergida de secciones, se calcula A_d , S_M y V para la combinación dada de los valores de η y θ . Repitiendo estas operaciones para otras combinaciones de valores de η y θ , se grafica A_d , S_M y

V para valores constantes del ángulo tomados a iguales intervalos.

Cuando el gráfico ha sido hecho, se pone, como una primera aproximación $A_d = S_M = V = 0$ y $\eta_m' = x_1'$ y, asignando el valor deseado de η se calcula por la fórmula (V-53). Para el valor de η y θ se toma de los gráficos los valores de V , A_d y S_M y se los sustituye en las fórmulas (V-49), (V-54) y (V-55). Luego se toma una segunda aproximación pero calculando η_m' , θ' y θ para las fórmulas (V-32) (V-51) y (V-53). De la misma manera una tercera aproximación puede ser hecha, y si es necesario otras aproximaciones sucesivas pueden ser hechas.

Exactamente en la misma manera los valores de η' , θ' y θ pueden ser calculados para otros valores de η y consecuentemente para otros valores del tiempo "t" como " η " y "t" son relacionados ya en la expresión (V-33).

Los dos parámetros η y θ que determinan junto con la ecuación de correlación (V-14), la posición del buque al final de la tercera etapa son obtenidas por medio de las fórmulas derivadas anteriormente. La tercera etapa es completada cuando los extremos posteriores de las anguilas están sobre la antegrada. En este punto se tiene la siguiente relación aproximada entre los parámetros.

$$\eta_3 = L_2 + h_i \theta_3$$

Aquí η_3 y θ_3 corresponden al final de la tercera etapa.

4ª Etapa - Descanso

En la cuarta etapa el buque cae fuera de la antegrada y la reacción de las imadas N_i ya no intervienen. Así en esta etapa el buque cesa de tener contacto con la base y por esto la relación expresada por la ecuación de correlación (V-9) no tiene sentido. La posición del buque es definida por tres

parámetros independientes: las dos coordenadas del centro de gravedad η y ζ y el ángulo de inclinación θ .

En la cuarta etapa el buque se mueve por inercia, y se mueve lateralmente teniendo movimiento de levantamiento y balanceo que tienen lugar cerca de la posición de equilibrio, de aquí que en la ecuación de movimiento del cuarto período, como diferencia del tercer período, todas las características del casco pueden ser reemplazados por sus valores medios correspondientes al buque lanzado.

Las primeras dos ecuaciones de movimiento de la cuarta etapa pueden ser obtenidas de las ecuaciones de la tercera etapa, si hacemos que $N = 0$ y consecuentemente $F_h = 0$.

La tercera ecuación es obtenida de la suma de los momentos de las fuerzas actuando alrededor del centro de gravedad del buque. Así se tiene:

$$-\frac{W}{g} \zeta'' + W - R_\zeta = 0 \quad (V-56)$$

$$-\frac{W}{g} \eta'' - R_\eta = 0 \quad (V-57)$$

$$-I_x' \theta'' - M_x = 0 \quad (V-58)$$

Quí R_ζ y R_η son como en la tercera etapa y M_x es la suma de los momentos de presión alrededor del eje longitudinal que pasa a través del centro de gravedad del buque.

Similarmente a la que se tuvo en la tercera etapa se puede escribir la expresión aproximada para la proyección de la resultante de la presión sobre el eje horizontal pero en el presente caso las características de la posición sumergida del casco ΔM_y y A_d son consideradas como constantes correspondientes al buque lanzado.

Se puede escribir entonces que:

$$R_\eta = \Delta M_y \eta'' + C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2 \quad (V-59)$$

Sustituyendo esto en la (V-57) se obtiene:

$$-\frac{W}{g} \eta'' - \Delta M_y \eta'' - C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2 = 0$$

$$\eta'' = - \frac{C_a \frac{\rho}{2} A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_y} \eta'^2 \quad (V-60)$$

En donde el factor de η'^2 puede ser considerado como constante ya que ΔM_y y A_d son ciertas características medias del casco que relaciona al buque lanzado.

La primera integral de la ecuación (V-60) es:

$$\eta' = \frac{\eta'_3}{k \eta'_3 t + 1} \quad (V-61)$$

donde η'_3 es la velocidad lineal al final de la tercera e t a p a y

$$k = \frac{C_a \frac{\rho}{2} A_d}{\frac{W}{g} + \Delta M_y}$$

El segundo integral es obtenido en la forma:

$$\eta = \eta_3 + \frac{1}{k} \ln (k \eta'_3 t + 1) \quad (V-62)$$

Aquí η_3 es la distancia viajada en la tercera etapa:

Escribiendo la expresión para la proyección de la resultante de presión R_ζ sobre el eje vertical.

$$R_\zeta = \frac{dB_\zeta}{dt} + R_2 + \gamma V$$

Aquí B_ζ es la proyección del vector resultante de la fuerza de presión actuando en el eje $O\zeta$ que puede ser obtenido de la

energía cinética, despreciando los términos pequeños

$$B_{\zeta} = \Delta M_Z \zeta'$$

Usando la expresión para R_2 de la sección anterior se tiene:

$$R_{\zeta} = \Delta M_Z \zeta'' + C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2 + \gamma V \quad (V-63)$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (V-56), se obtiene:

$$-\frac{W}{g} \zeta'' + W - \Delta M_Z \zeta'' - C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2 - \gamma V = 0$$

$$\left(\frac{W}{g} + \Delta M_Z\right) \zeta'' - W + \gamma V - C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2 = 0$$

$$\zeta'' + \frac{C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2}{\frac{W}{g} + \Delta M_Z} \zeta'^2 + \frac{\gamma V - W}{\frac{W}{g} + \Delta M_Z} = 0$$

En esta expresión S_M y ΔM_Z son consideradas como cantidades constantes correspondientes al buque lanzado. Para el peso de lanzamiento del buque se tiene:

$$W = \gamma V_0$$

Entonces asumiendo que los lados del buque son rectos se tiene:

$$\gamma V - W = \gamma S_M (\zeta - \zeta_0)$$

Sustituyendo este valor en la igualdad obtenida anteriormente

$$\zeta'' + \frac{C_{\zeta} \frac{\rho}{2} S_M \zeta'^2}{\frac{W}{g} + \Delta M_Z} \zeta'^2 + \frac{\gamma S_M}{\frac{W}{g} + \Delta M_Z} (\zeta - \zeta_0) = 0 \quad (V-64)$$

En esta expresión ζ_0 es la ordenada del centro de gravedad del buque lanzado en el sistema de coordenadas adoptadas. La ex

presión (V-64) representa la ecuación de levantamiento en aguas tranquilas con resistencia cuadrática.

En la práctica lo que más nos concierne es la máxima inmersión posible del buque después de la caída, ya que la resistencia del agua reduce la inmersión, por lo que despreciamos - por seguridad el segundo término de la ecuación (V-64) y se obtiene la ecuación de levantamiento del buque en aguas tranquilas sin resistencia.

$$\zeta'' + \omega_{\zeta}^2 (\zeta - \zeta_0) = 0 \quad (V-65)$$

donde:

$$\omega_{\zeta} = \sqrt{\frac{\gamma S_M}{\frac{W}{g} + \Delta M_Z}}$$

es la frecuencia de levantamiento y

$$\tau_{\zeta} = \frac{T}{\omega_{\zeta}} = T \sqrt{\frac{\frac{W}{g} + \Delta M_Z}{\gamma S_M}} \quad (V-66)$$

Es la mitad del período de levantamiento en segundos.

Asumimos la siguiente solución para la ecuación (V-65)

$$\zeta - \zeta_0 = A \cos \omega_{\zeta} t + B \operatorname{sen} \omega_{\zeta} t$$

donde A y B son determinados por las condiciones iniciales.

Para el comienzo de la cuarta etapa cuando $t = 0$ se tiene $\zeta = \zeta_3'$, la velocidad al final de la tercera etapa, y $\zeta = \zeta_3'$, la ordenada del centro de gravedad al fin de la tercera etapa. Se obtiene entonces finalmente:

$$\zeta - \zeta_0 = \sqrt{(\zeta_3 - \zeta_0)^2 + \left(\frac{\zeta_3'}{\omega_{\zeta}}\right)^2} \operatorname{sen}(\omega_{\zeta} t + \beta)$$

en donde la amplitud es:

$$\sqrt{\zeta_3 - \zeta_0^2 + \left(\frac{\zeta_3'}{\omega_{\zeta}}\right)^2}$$

y el cambio de fase es

$$\beta = \text{arc tg } \frac{\zeta_3 - \zeta_0}{\zeta_3} \omega_\zeta$$

La máxima inmersión del centro de gravedad entonces

$$\zeta_{\text{max}} = 2 \sqrt{(\zeta_3 - \zeta_0)^2 + \left(\frac{\zeta_3}{\omega_\zeta}\right)^2} + \zeta_3 \quad (\text{V-67})$$

Escribiendo la expresión para el momento de presión alrededor del eje longitudinal que pasa por el centro de gravedad del buque.

$$M_x = \frac{dI_{\theta_1}}{dt} - R_1 r_f + R_2 r_s + M_\theta + \gamma V l$$

En esta expresión I_{θ_1} es la proyección del vector resultante del momento de presión que actúa sobre el eje GX fijo en relación al buque.

r_f = brazo de la fuerza R_1 con respecto al eje GX

r_s = brazo de la fuerza R_2 con respecto al eje GX

M_θ = momento de la resistencia ofrecida por el agua a la rotación alrededor del eje GX

El brazo r_s es en la práctica, muy pequeño, de aquí que el momento de la fuerza R_2 es despreciado, el momento M_θ es así mismo despreciado por ser también pequeño. El momento de impulso $\frac{dI_{\theta_1}}{dt}$ puede ser obtenido a partir de la ecuación de la energía cinética en la cual despreciamos los términos pequeños.

$$\frac{dI_{\theta_1}}{dt} \approx \Delta M_{\theta \cdot \theta}$$

Escribiendo ahora la expresión final aproximada para el momento

$$M_x = \Delta M_{\theta \cdot \theta} - C_a \frac{\rho}{2} A_d n^2 r_f + \gamma V l \quad (\text{V-68})$$

Sustituyendo (V-68) en la ecuación (V-58) se obtiene:

$$- I_x \theta'' - \Delta M_\theta \theta'' + C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2 r_f - \gamma V \ell = 0$$

$$(I_x + \Delta M_z) \theta'' - C_a \frac{\rho}{2} A_d \eta'^2 r_f + \gamma V \ell = 0$$

En esta expresión ΔM_θ , A_d y V son considerados como cantidades constantes correspondientes al buque lanzado. Así:

$$V = V_0 = \frac{W}{\gamma}$$

El brazo de estabilidad es determinado por la fórmula metacéntrica.

$$\ell = \overline{GM} \cdot \theta$$

donde GM es la altura metacentrica correspondiente al buque lanzado.

El brazo r_f varía en general sobre un gran rango. Para buques con quillas laterales, sin embargo, de datos experimentales puede ser tomado que:

$$r_f = Z_g - T$$

Esta relación puede ser usada en la presente consideración ya que los arreglos de lanzamiento fijos al buque hacen el mismo papel que las quillas laterales. Ya que en la mayoría de lanzamientos laterales, los buques son lanzados con la maquinaria a bordo y el centro de gravedad, usualmente se encuentra cerca del nivel de la línea de agua y r_f es entonces tan pequeña que el momento de la fuerza R_1 puede ser despreciado. Despreciando un término mas en la ecuación y después sustituyendo el brazo ℓ , se obtiene la ecuación de movimiento de balanceo del buque en aguas tranquilas sin resistencia.

$$\theta'' + \omega_0^2 \theta = 0$$

(V-69)

donde
$$\omega_{\theta} = \sqrt{\frac{W \overline{GM}}{\frac{W}{g} + \Delta M_{\theta}}}$$

es la frecuencia de balanceo y

$$\tau_{\theta} = \frac{\pi}{\omega_{\theta}} = \pi \sqrt{\frac{\frac{W}{g} + \Delta M_{\theta}}{W \overline{GM}}}$$

es la mitad del período de balanceo en segundos.

Asumiendo la siguiente solución para la ecuación (V-69).

$$\theta = A \cos \omega_{\theta} t + B \operatorname{sen} \omega_{\theta} t$$

donde A y B son determinados por las condiciones iniciales.

Para el comienzo de la cuarta etapa se tiene $t = 0$, $\theta' = \theta_3'$, $\theta = \theta_3$ se obtiene finalmente

$$\theta = \sqrt{\theta_3^2 + \frac{\theta_3'^2}{\omega_{\theta}^2}} \cos(\omega_{\theta} t + \beta)$$

La amplitud para el cual es el ángulo máximo de inclinación en el presente caso es:

$$\theta_{\max} = \sqrt{\theta_3^2 + \frac{\theta_3'^2}{\omega_{\theta}^2}} \quad (\text{V-70})$$

y la fase inicial es:

$$\beta = - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\theta_3'}{\omega_{\theta} \theta_3}$$

El centro de gravedad del buque ocupará la posición más baja cuando el tiempo transcurrido es igual a la mitad del período de levantamiento, por ejemplo en τ_{ζ} segundos después del comienzo de la cuarta etapa. El ángulo de inclinación alcanzará el máximo valor cuando el tiempo transcurrido es igual a la mitad del período de balanceo, por ejemplo en τ_{θ} segundos después del comienzo de la cuarta etapa.

El período de levantamiento es siempre considerablemente más pequeño que el período de balanceo. En este caso interesa la máxima inmersión de los extremos posteriores de las anguilas, y la distancia desde la antegrada al cual esto ocurre. Por esto se puede asumir que la máxima inmersión del centro de gravedad y el máximo ángulo de inclinación tienen lugar simultáneamente.

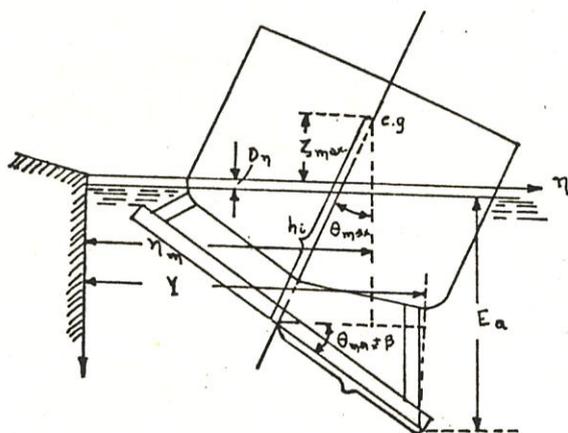


FIGURA Nº 52

De la figura Nº 52 se puede escribir la siguiente expresión para la máxima inmersión del extremo anterior de las anguilas E_a :

$$E_a = \zeta_{\max} - D_{\eta} + h_i \cos \theta_{\max} + L_1 \text{ Sen } (\theta_{\max} + \beta) \quad (\text{V-71})$$

La distancia Y a ese instante de tiempo desde el extremo anterior de las anguilas a la antegrada es:

$$Y = \eta_{\max} - h_i \text{ Sen } \theta_{\max} + L_1 \text{ Cos } (\theta_{\max} + \beta) \quad (\text{V-72})$$

La distancia η_{\max} es determinada por la fórmula (V-62) si $t = \tau_{\zeta}$ es sustituida en esta.

Para que los extremos anteriores de las anguilas no golpeen el piso cuando el buque cae a la profundidad del agua a una distancia Y de la antegrada no deberá ser menor que E_a . La posibilidad de golpe lateral en la antegrada de la construcción de deslizamiento cuando el buque es inclinado en la dirección opuesta puede ser revisada de una manera apresurada como sigue:

Se asume que el buque es inclinado al lado opuesto un ángulo θ_{\max} . El tiempo transcurrido desde el comienzo de la cuarta etapa hasta la posición opuesta es entonces $2\tau_{\theta}$. Sustituyendo $t = 2\tau_{\theta}$ en la fórmula (V-62) se obtiene la distancia D_T del centro de gravedad desde la antegrada a ese instante de tiempo. Para determinar si el costado golpeará la antegrada es necesario representar en un dibujo la antegrada y el buque inclinado a un ángulo θ_{\max} a la distancia apropiada desde la antegrada como ha sido hecha en la Figura N° 53.

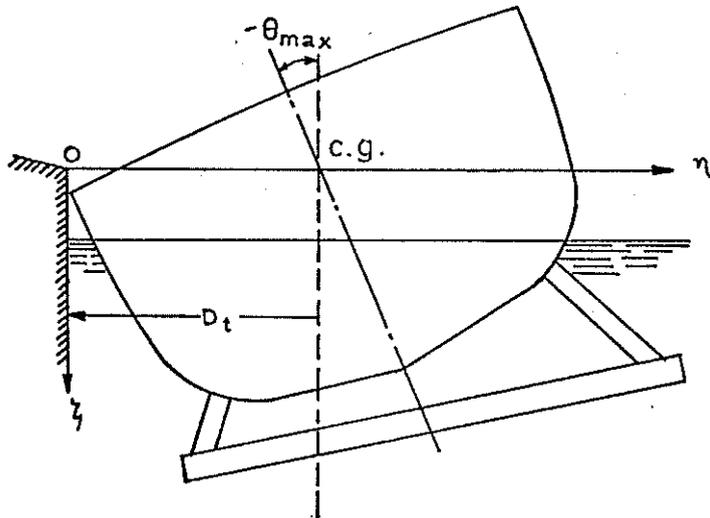


FIGURA N° 53

c. CALCULOS

Peso y centro de gravedad

La base para todo cálculo de lanzamiento es un estimado del peso probable y la posición longitudinal y vertical del centro de gravedad del buque en la condición de lanzamiento.

Ya que el peso del buque es un factor que gobierna la selección de la grada de lanzamiento, la inclinación de las vías y la altura de la quilla arriba de las mismas es usualmente necesario establecer una primera aproximación del peso de lanzamiento y centro de gravedad antes que la quilla sea colocada al inicio de la construcción.

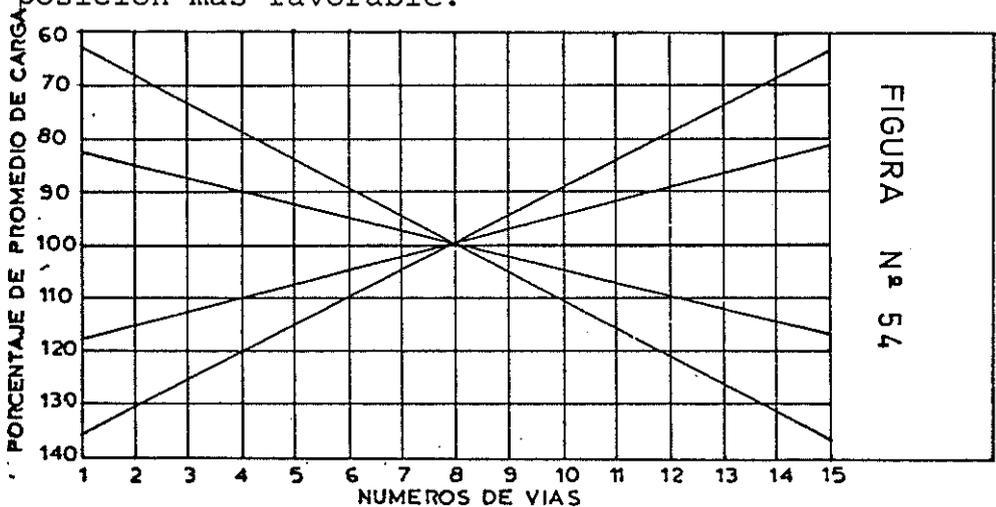
Cuando se planifica la construcción de un buque es posible preparar con considerable detalle un estimado del peso de lanzamiento, si antes de esto es necesario un estimado del peso de lanzamiento se habrá que tomar datos de lanzamientos anteriores de buques similares.

Ya que una considerable variación de pesos de lanzamientos pueden ser esperados, cálculos de lanzamientos preliminares deberán ser preparados para asumir condiciones máximas y mínimas.

La posición longitudinal del centro de gravedad es un factor importante en la localización del buque sobre las vías. Idealmente, el L.C.G. del buque debería estar localizado sobre el centro de área de las vías lubricadas o, en el caso usual de vías espaciadas igualmente, sobre la mitad de las mismas. Así la distribución de carga en las vías de lanzamiento deberá ser simétrico hacia proa y popa, y cualquier tendencia para que el buque deslice irregularmente desde las vías de lanzamiento deberán ser minimizadas.

Si la localización de las vías es fija y la posición del L.C.G.

es tal que produce una gran excentricidad entre el centro de peso y el centro de soportes, se deberán hacer consideraciones sobre la instalación de lastre en el buque ajustando el L.C.G. en una posición más favorable.



La Figura N° 54 ilustra el efecto de excentricidad sobre la distribución de presión para unas 15 vías de arreglos de lanzamientos.

La altura del centro de gravedad es uno de los factores predominantes en la estabilidad del buque y consecuentemente debería ser establecido con razonable exactitud al comienzo de los cálculos de lanzamiento y revisado a intervalos durante el período de construcción para asegurar un margen de estabilidad en el lanzamiento.

Declive de las vías

Las consideraciones iniciales en la selección del declive de las vías de lanzamiento que provean un inicio seguro, es generalmente de menor importancia con el uso común hoy de grasas de base mineral con un coeficiente bajo de fricción. Así la selección del declive para lanzamientos laterales será generalmente hecho para regular, entre razonables límites establecidos por la experiencia, la velocidad del buque al final de las vías, las cuales en correspondencia influenciarán para dar un significativo grado de espacio libre entre el buque y la antegrada durante el lanzamiento, entre el buque y el otro lado de la dár

sena y el espacio libre entre el buqué y la antegrada cuando regresa del balanceo.

Debido a la práctica se ha establecido que el declive de las vías de lanzamiento lateral varía entre 1 y 2 pulgadas por pie.

Fricción

La resistencia friccional del lubricante de lanzamiento depende del tipo de lubricante, temperatura, método de aplicación y la presión promedio.

Cuando usamos grasas minerales en la forma de bases y slipcoats, es costumbre de arreglar las vías de lanzamiento como para producir una presión promedio sobre la grasa de entre 1.5 y 2.5 ton/ft². Así el área de las anguilas sería entre $W/1.5$ y $W/2.5$ ft².

La forma de aplicación de los tipos de grasa son los mismos a los empleados en los lanzamientos longitudinales.

Velocidad y movimiento

Así en el lanzamiento longitudinal la fuerza neta F_1 que produce movimiento hacia abajo de las vías es la componente de peso en la misma dirección, $F_1 = W \text{ Sen } \theta$ menos la fuerza de fricción $F_3 = f W \text{ cos } \theta$. (Figura N° 55).

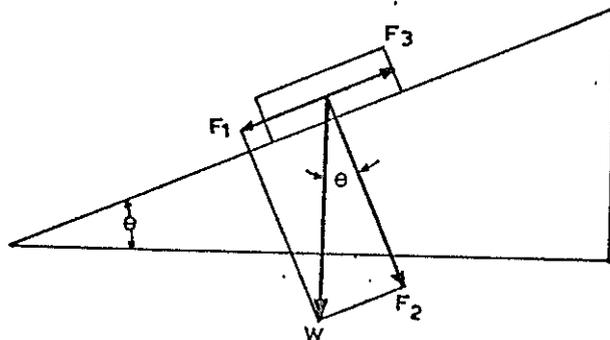


FIGURA N° 55

La velocidad en cualquier punto puede ser establecida por un análisis de la energía neta aprovechable para producir esta ve-

locidad. Ya que solamente la energía significativa durante el movimiento del buque desde el inicio al final de las vías es ésa absorbida por la resistencia friccional del lubricante, la energía que produce la velocidad es:

$$E = \int_0^x F \, dx$$

donde: $F = F_1 - F_3$

y

$x =$ distancia viajada

La correspondiente velocidad, en ft/seg. es dado en la siguiente ecuación:

$$v = \left(\frac{2gE}{W} \right)^{1/2} = 8.02 \left(\frac{E}{W} \right)^{1/2}$$

Cuando x es igual a la distancia entre la posición inicial hasta el final de las vías, v viene a ser la velocidad del buque al final de las vías. Esta velocidad tiene un importante efecto sobre el movimiento del buque en la subsecuente fase de lanzamiento.

Ahora llega a ser conveniente, con razonable exactitud, la trayectoria curvada del c.g. del buque durante la fase de rotación del lanzamiento, ya que esta fase indicará el espacio libre esperado entre el buque y las imadas. Un dibujo ploteado de la fase del buque puede ser preparado para producir el espacio libre del buque, quillas laterales, hélices y otros apéndices. Este ploteo puede ser determinado por cálculos, o por datos publicados si ellos son suficientemente comprensivos.

En vista de los muchos factores variables que influyen la curva del c.g. durante la rotación el grado de exactitud de los cálculos depende de lo razonable de las asunciones que deben ser hechas.

Mientras es reconocido que la trayectoria del c.g. durante un lanzamiento lateral puede ser predecido por solo cálculos y, en muchos casos, el resultado de éstos han sido confirmados por observaciones reales, debe tenerse cuidado en la seguridad de los análisis calculados a menos que sean modificados por juicios basados en la experiencia. El uso de pruebas de modelos para chequear los resultados calculados han llegado a ser de común práctica.

Estabilidad

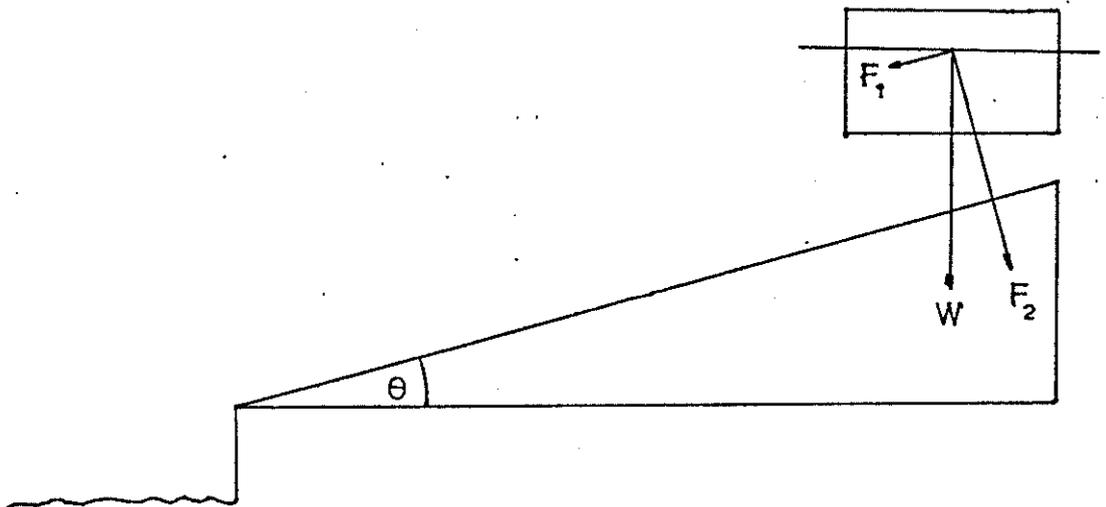
Un rasgo característico de un lanzamiento lateral es el gran ángulo de inclinación asumido por el buque después de haber salido de las vías. Obviamente, la estabilidad de un buque a ser lanzado lateralmente debe ser investigado cuidadosamente.

Una curva de estabilidad estática mostrando el brazo de adrizamiento ploteado contra ángulos de inclinación debería ser desarrollado para el buque a desplazamientos de lanzamientos y KG para establecer el margen contra zozobra al asumido ángulo máximo de balanceo.

d) EJEMPLOS

Para este caso de lanzamiento lateral también se ha considerado el buque de la Escuela de Pesquería cuyas características son:

L = 72.27'
 B = 20.73'
 M = 10.40'
 W = 87 ton.



Para la inclinación de la grada se ha tomado el valor de $1\frac{1}{2}''$ por pie con un coeficiente de rozamiento de 0.01.

Haciendo un análisis de las fuerzas que actúan en el buque:

$$F_1 = W \operatorname{Sen} \theta = 87 \times \operatorname{Sen} 7.1^\circ \times 0.1236 = 10.75$$

$$F_3 = f W \operatorname{Cos} \theta = 0.01 \times 87 \times 0.9923 = 0.86$$

$$F = F_1 - F_3 = 10.75 - 0.86 = 9.89 \text{ ton. (fuerza que causa el movimiento).}$$

Energía que produce la velocidad: $E = \int_0^x F dx$

$$E = 9.89 \times 40 = 395.6 \text{ ton-pie}$$

$$v = 8.02 \left(\frac{E}{W} \right)^{1/2} = 8.02 \left(\frac{395.6}{87} \right)^{1/2} = 8.02 \sqrt{4.55}$$

$$v = 8.02 \times 2.13 = 17.08 \text{ pie/seg. (velocidad al final de las vías).}$$

$$a = \frac{g F}{W} = \frac{32.2 \times 9.89}{87} = 3.66 \text{ pie/seg}^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2 X}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 40}{3.66}} = \sqrt{21.86} = 4.57 \text{ seg.}$$

Con la aceleración obtenida se puede elaborar la tabla 1 para observar como varía la velocidad y el tiempo.

T A B L A 1

Tiempo seg.	Velocidad pie/seg.	T ²	distancia $X = \frac{1}{2} at^2$
1	3.66	1	1.83
2	7.32	4	7.32
3	10.98	9	16.47
4	14.64	16	29.28
5	18.30	25	45.75
6	21.96	36	65.88

Si consideramos la distancia que va a recorrer el buque y el valor de la manga para observar la distancia a la que el buque cae más allá de la antegrada tendremos:

$$X = 40 + 20.73 = 60.73$$

Por lo que el tiempo que tardará en recorrer las 60.73' será:

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 60.73}{3.66}} = \sqrt{33.19} = 5.76 \text{ seg.}$$

De la tabla 1 observamos que a los 6 seg. el buque ha recorrido 65.88 pies, por lo que tendremos:

$$\begin{array}{r} 65.88 \\ - 60.73 \\ \hline 5.15' \end{array}$$

Valor que nos garantiza que el buque caerá 5' más allá de la antegrada (Figura N° 57).

En los diagramas 3 y 4 observamos la variación de la velocidad y el espacio con respecto al tiempo.

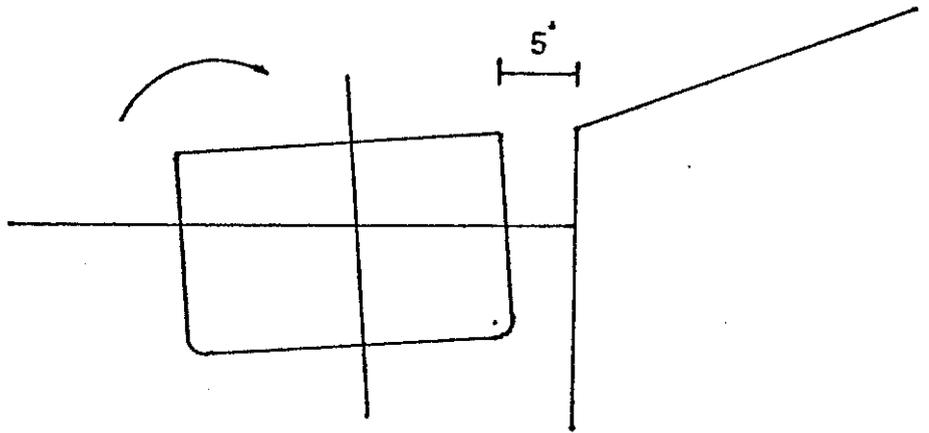


FIGURA N° 57

e) D I A G R A M A S

tiempo
(seg)

6

5

4

3

2

1

0

1

2

3

4

5

10

15

20

velocidad
ft./seg

20

15

10

DIAGRAMA 3

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

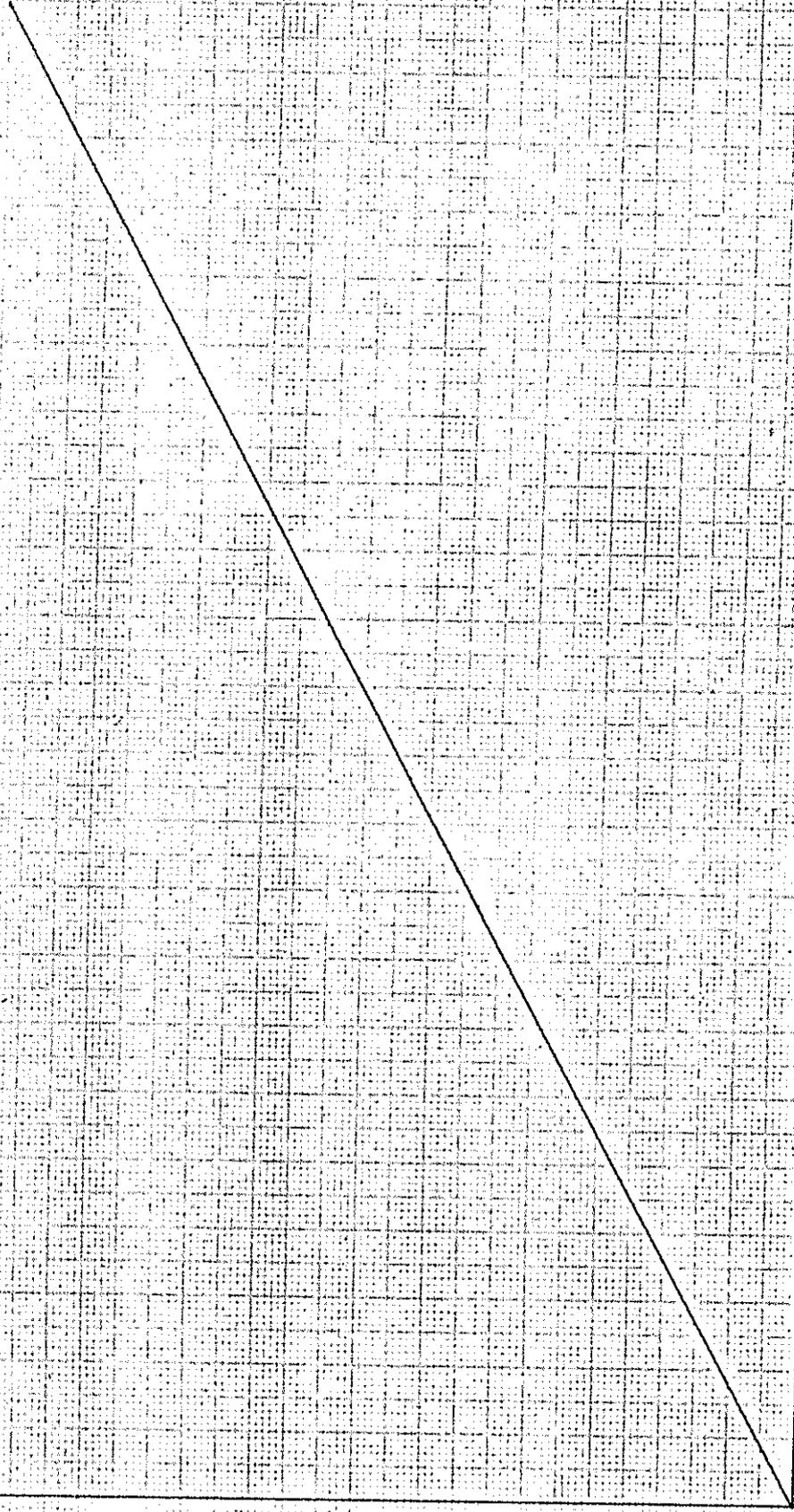
96

97

98

99

100



tempo
(seg.)

6

5

4

3

2

1

0

5

10

20

30

40

50

60

distancia
(ft.)

60

50

40

30

20

10

0

DIAGRAMA 4

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

VI. COMPARACION ENTRE LOS LANZAMIENTOS LONGITUDINAL Y LATERAL

Existen ventajas del lanzamiento lateral sobre el lanzamiento longitudinal principalmente cuando se pretende construir grandes navíos y en serie.

El lanzamiento lateral es posible cuando el longitudinal no lo es, por ejemplo en aguas poco profundas, ríos, canales estrechos, etc.

Las ventajas primordiales son del orden económico, debido a la forma de operación del astillero y a la dinámica del lanzamiento.

La ausencia de inclinación de la quilla simplifica la instalación de la estructura del casco, este hecho tiene mayor importancia, con el crecimiento en el tamaño de los buques y cuando se construyen con bloques prefabricados, permitiendo un mejor aprovechamiento de espacio en la construcción de buques semejantes. En el caso de una grada transversal, tenemos una porción menor de antegrada, que lleva un costo de mantenimiento y reparación menores, y se eliminan la mayor parte de los apoyos necesarios en el lanzamiento longitudinal.

La cuna de lanzamiento es menos complicada y menos cara. El apuntalamiento interno para cargas debido al pivoteo y presión al final de las vías no es necesario ya que durante el lanzamiento cuando el buque se separa de la grada, tenemos una distribución de peso a lo largo de la eslora del buque, que lleva a presiones menores en la grada y en el fondo del navío. Por eso el buque podrá ser lanzado lo más completo posible llegando a tener el 90 a 95% del peso ligero.

Las principales desventajas que se presentan en el lanzamiento lateral es que la entrada del casco en el agua la efectúa bruscamente, tomando una escora notable y levantando una gran masa de agua por lo que deberá tener un alto grado de estabilidad.

El peso del buque debe ser repartido de tal manera que ni la proa ni la popa caiga primero.

Debido a la gran complejidad del problema matemático del lanzamiento lateral se lo considera menos exacto que el longitudinal.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo visto a lo largo de este trabajo podemos concluir que el lanzamiento lateral a pesar de los cálculos complejos, del gran frente de agua que se requiere, etc. es más ventajoso debido a que requiere instalaciones menores de bajo costo de mantenimiento y facilita mucho la construcción de los buques.

Por la conclusión anterior lo lógico sería recomendar que en un Astillero se emplee el lanzamiento lateral debido a las ventajas que ofrece sobre el lanzamiento longitudinal, pero por cuanto en el País además de la construcción se requiere reparación será necesario instalar una grada para lanzamiento longitudinal ya que esto nos permite tanto lanzar el buque después de su construcción como subirlos para su reparación, a diferencia de las instalaciones de lanzamiento transversal que solo sirven para lanzamiento.

BIBLIOGRAFIA

- "Principles of Naval Architecture". Johnip Comstock. 1967.
- "Statics and Dynamics of the Ship". V. Semyonov - Tyan - Shansky.
- "Basic Naval Architecture". Kenneth. C. Barnaby - 1969.
- "Introduction to Steel Shipbuilding". Elijah Baker III. 1953.
- "Um Estudo Sobre lan amento Lateral". Sergio da Silva. 1973.
- "Side - Lauching on the Great Lakes. Model Experiments and Practice". By James H. Fahey.
- "Side Launching of Ships".
- "Apuntes de la materia Construcción Naval III de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales". España.
- "Apuntes de la materia Problemas especiales de Construcción Naval". Escuela Politécnica del Litoral.