

METODO DE CALCULO PARA EL LANZAMIENTO LONGITUDINAL DE BUQUES

Por

Claudio DAURE Uribe
Profesor de Arquitectura Naval
Universidad Técnica del Estado, Valdivia
Edgardo CID Lagos, Alumno

A — INTRODUCCION



*A COLOCACION del buque en el agua es una operación de máxima importancia para el astillero y armador. El proceso de transferencia puede realizarse por diversas formas; procedimientos que difieren fundamentalmente en consideración al tamaño de la nave y de la situación del astillero. Sin embargo, continúa siendo el procedimiento más utilizado el denominado "Lanzamiento Longitudinal por Popa", en que el buque se desliza al agua mediante un plano inclinado o grada de lanzamiento, efectuando un recorrido paralelo a su eje de crujía.

El método de cálculo que se presenta a continuación, corresponde al procedimiento aplicado en la Memoria de Titulación del alumno Edgardo Cid Lagos denominada "Lanzamiento Longitudinal de Buques y Método de Cálculo Aplicado a un Buque de 8.100 tons. DW", cuyo índice de contenidos, reproducido a continuación, permite apreciar los tópicos analizados en el desarrollo de este tema:

Capítulo I. Descripción del Lanzamiento Longitudinal por Popa.

Capítulo II. Fases y Análisis del Proceso de Lanzamiento.

Capítulo III. Factores que Influyen en el Lanzamiento Longitudinal.

Capítulo IV. Métodos Tradicionales de Cálculo.

Capítulo V. Método de Cálculo Práctico Aplicado a un Buque de 8.100 tons. DW.

B — GENERALIDADES

Usualmente el procedimiento de cálculo se ha limitado al estudio de carácter estático o semi-estático que relaciona las fuerzas y momentos en función del recorrido, basado en la aplicación del denominado "Método Inglés". En el presente estudio se ofrece una disposición completa de cálculo que incluye los aspectos importantes, estático y dinámico, que deban determinarse previamente y que permita realizar un lanzamiento exento de los riesgos que puede involucrar.

Antes de abocarnos directamente al objetivo planteado es necesario referirnos aquí, en forma sucinta, a las características principales que intervienen y a las

posiciones críticas que se producen durante el lanzamiento longitudinal.

El dispositivo para el lanzamiento consiste en una parte móvil (cuna y anguilas) que soporta al barco y una parte fija inclinada (imada) sobre la cual se

desliza la parte móvil que lleva consigo al barco para transferirlo y hacerlo flotar libremente en el agua. En la figura 1 se aprecia la disposición general del lanzamiento y las relaciones o valores principales que intervienen.

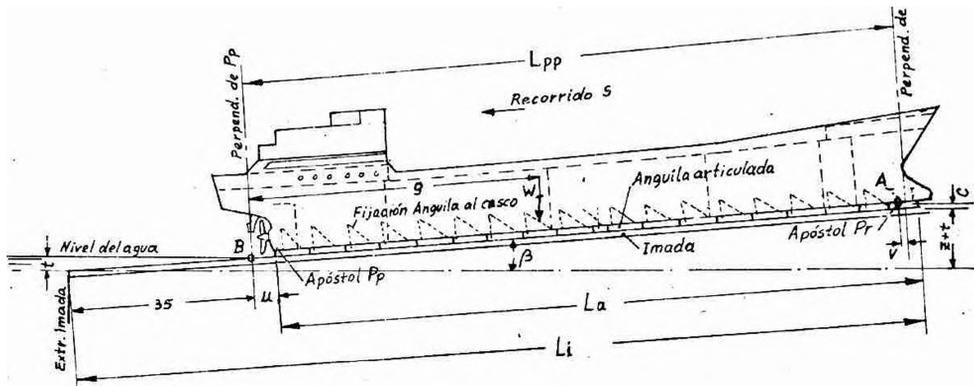


Figura N° 1 FACTORES PRINCIPALES PARA EL CALCULO DEL LANZAMIENTO.

Durante el transcurso del lanzamiento se producen alteraciones en el movimiento del barco y en las fuerzas que actúan, de modo que usualmente se le considera dividido en las cuatro fases siguientes:

Primera fase

Desde el comienzo del movimiento hasta que el extremo de popa de las anguilas entra al agua (corrimiento en seco). Para que el movimiento se inicie debe cumplirse

$$W \cdot \text{sen } \beta > W \cdot f \cdot \text{cos } \beta$$

$$\text{o sea } \text{tg } \beta > f$$

siendo:

W = peso del lanzamiento

β = inclinación de la imada o grada

f = coeficiente de fricción estático.

Segunda fase

Cuando se inicia la inmersión y el empuje de la popa hasta el comienzo del giro vertical o pivoteamiento en torno a un eje perpendicular al plano de crujía a través del extremo de la imada o grada (movimiento de arfada) o respecto al ex-

tremo de proa de la anguila o apóstol de proa (movimiento contra-arfada).

Un aspecto importante en el cálculo es cerciorarse que no ocurra arfada, fenómeno indeseable y a veces peligroso.

Tercera fase

Comprende desde el final de la anterior hasta que el empuje produce la separación de las anguilas fuera de las imadas. El buque se desliza con el extremo de proa de las anguilas recorriendo hacia abajo las imadas y al mismo tiempo pivoteando en torno a este punto (movimiento contra-arfada). La fuerza de presión que se concentra en el apóstol de proa da lugar a un valor máximo que debe ser capaz de soportar el dispositivo de lanzamiento y el propio casco del buque.

Cuarta fase

El comienzo de la última fase se considera desde el desprendimiento del extremo de las anguilas de las imadas 0 cuando se produce el movimiento de caída, denominado salido, que ocurre si la profundidad del agua en el extremo de la grada es insuficiente. La última fase

termina, y con ella el lanzamiento mismo, cuando el buque flota libremente y su movimiento cesa, deteniéndose finalmente.

Normalmente el principal objeto del calculo de lanzamiento es poder clarificar las siguientes circunstancias críticas: existencia de arfada, comienzo del empuje de popa, presión máxima que soportará el apóstol de proa y distancia recorrida por el buque hasta su detención.

C.— METODO DE CALCULO

El método de cálculo propuesto se considera subdividido en cinco etapas, cuya denominación y secuencia de desarrollo es la siguiente:

- 1.— Definición de las características particulares del lanzamiento.
- 2.— Peso del lanzamiento. Centro de Gravedad. Calados y Estabilidad flotando libre.
- 3.— Cálculo previo sobre las condiciones críticas del lanzamiento.
- 4.— Cálculo definitivo. Diagrama del lanzamiento. Estabilidad durante el lanzamiento. Cálculo de las presiones resultantes. Fuerza que actúa en el disparo.
- 5.— Efectos dinámicos del lanzamiento. Velocidad. Balance de energía. Recorrido libre.

Para una mejor comprensión del procedimiento indicado se considerará su desarrollo a través de la aplicación práctica en el cálculo de lanzamiento de un buque dado.

- 1.— Definición de las características particulares del lanzamiento.

El buque que se considerará es pata carga general y containers, de tamaño mediano, con las siguientes características principales:

Eslora total: 126,85 m.
 Eslora entre perpendiculares: 117 m.
 Manga moldeada: 17,96 m.
 Puntal: 10,26 m.
 Calado medio: 7,85 m.
 Desplazamiento: 11.200 tons.
 Deadweight: 8.100 tons.

Capacidad de bodegas: 11.751 m³.

Potencia motor principal: 5.200 BHP.

Velocidad de servicio: 15 nudos.

La situación particular del astillero puede plantear ciertas exigencias especiales que deberán considerarse en el cálculo y en la ejecución del lanzamiento, como es el caso de existir una vía de agua limitada, quedando así restringido el recorrido libre y debiéndose recurrir a medios de frenado. La profundidad del agua en el extremo (inferior) de la imada debe ser también conocida o prevista para la fecha y hora del lanzamiento, y que a su vez está ligada a los niveles de la marea. Para que el cálculo cubra las alteraciones imprevistas del nivel de agua, se considerará, además del nivel normal, un nivel inferior en 0,5 metros y otro superior en 0,5 metros.

El peso del lanzamiento dependerá del programa de construcción del astillero. En todo caso, el buque podrá ser lanzado al agua cuando se haya terminado el casco, cuyo peso total y componentes principales se indican en la etapa 2.

El casco del buque se ha construido sobre una grada rectilínea con inclinación de 3.72° o 0.065 % que consta de una sola imada, complementada con dos guías laterales para prevenir posibles escoras en el lanzamiento. Durante la construcción, el buque se apoya sobre calzos de madera y cajas de arena, los cuales se retiran momentos antes del lanzamiento para que el barco descansa sobre las imadas a través de la anguila.

A continuación, en el Cuadro de Cálculo N° 1, se indican los factores requeridos para el cálculo, en concordancia con la figura 1. Se incluye también el valor del peso del lanzamiento y su centro de gravedad, resultados que se obtendrán posteriormente.

- 2.— Peso del lanzamiento. Centro de Gravedad. Calados y estabilidad Flotando Libre.

Para obtener el peso del lanzamiento y su centro de gravedad se computan todos los pesos de los bloques de construcción que comprenden las estructuras del doble fondo, costados del casco, proa, popa, cubiertas, mamparos, superestructuras, brazolas, etc. El peso del timón y

CUADRO DE CALCULO N° 1

Denominacion	Expresion de calculo	Valor
Eslora entre perpendiculares	Lpp	117,00 m.
Peso del lanzamiento	W	2040 ton.
Largo de imada (grada)	Li	153,9 m.
Inclinación de la imada	tgβ	0.065 (3.72)
Distancia perpend. proa y apóstol proa	v	m.
Distancia entre B y apóstol proa	Lpp - v	116,10 m.
Distancia entre B y apóstol popa	u	3,90 m.
Largo de anguila	La	115,00 m.
Ancho de anguila	b	0,75 m.
Altura de la anguila (A)	c	0,50 m.
Altura de agua sobre extremo de imada	tl	2,28 m.
Inclinación de la quilla	tg a = tg β	0,065
Altura de A sobre extremo de imada	t + z + c	10,32 m.
Altura de A sobre nivel de agua	c + z	8,04 m.
Altura entre A y B	(Lpp-v) sen β	7,54 m.
Distancia entre B y extremo de imada	Li - La - u	35,00 m.
Altura de B sobre nivel de agua	c	0,50 m.
C. de G. del peso desde perpend. popa	g	53,67 m.
C. de G. desde extremo de grada	g + 35	88,67 m.
C. de G. desde apóstol de proa	P = Lpp - v - g	62,49 m.
Momento del pesp respecto apóstol proa	W . p	127.479 t.m.
v por inclinación de la quilla (grada)	v.tg β	0,055 m.
Trimado en grada	Lpp.tg β	7,60 m.

Los componentes fundidos y la chimenea quedarán excluidos en el peso estructural porque se instalarán después del lanzamiento. En cambio se incluyen las tuberías en las bodegas y el doble fondo y también elementos de la propulsión como la bocina y el eje propulsor.

Los valores de los ítem considerados y la posición de su centro de gravedad respecto a la perpendicular de popa del buque (LCG) y verticalmente respecto a la quilla (KG) están dados en el cuadro siguiente:

CUADRO DE CALCULO N° 2

Item	Peso	LCG	Mto. Long.	KG	Mto. Vert
Peso estructura	1967	53,13	104507	6,46	12700
Timón y fundidos (—)	-12.20	0,00	000	3,70	45
Chimenea (—)	-3	15,70	47	23,17	70
Tuber a en D. fondo (+)	52	70,00	3640	0,90	47
Tuber a en bodega (+)	11	70,00	770	5,10	56
Bocina del eje (+)	5.80	7,00	41	2,70	16
Hélice y eje propul.	11.50	5,80	67	2,70	31
Total	2032.10	53,67	109072	6,38	12985

Considerando además un margen para el peso total, e incluir el pequeño efecto del peso del dispositivo del lanzamiento, tenemos los siguientes resultados:

Peso del lanzamiento = 2040 ton.

C. de G. desde perpend. de popa = 53,67 m.

C. de G. desde la quilla = 6,38 m.

Será también necesario conocer los calados en proa y popa, cuando el buque flote libremente después del lanzamiento.

Utilizando las curvas hidrostáticas del

buque y para la condición del desplazamiento del peso de lanzamiento se obtiene:

Calado medio = 1,82 m.

Centro Long. de Flotab. LCB. = 60,81 m. desde perpend. popa.

Centro Long. de Flotacion = 60,90 m. desde perpend. popa.

Momento trimado en un centímetro = 65,50 ton. m'cm.

En consecuencia:

$$\text{Trimado} = \frac{(60,81 - 53,67) \cdot 2040}{65,50} = 2,22 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en popa} = 1,82 + \frac{2,22 \cdot 60,90}{17} = 2,98 \text{ m.}$$

$$\text{Calado en proa} = 1,82 - \frac{2,22 \cdot 56,10}{117} = 0,76 \text{ m.}$$

Otro aspecto importante, en esta etapa preliminar, es averiguar que la posición de las componentes del peso de lanzamiento asegure una amplia estabilidad transversal (en este caso un alto valor de altura metacéntrica, GM) cuando el buque flote libremente en la fase final del lanzamiento.

De las curvas hidrostáticas del buque y del cuadro de cálculo Nr 2, se tiene:

Altura desde la quilla al metacentro, KM = 12,00 m.

C. de G. desde la quilla, KG = 6,38 m.

En consecuencia para la altura metacéntrica tenemos:

$$GM = KM - KG$$

$$GM = 12,00 - 6,38$$

$$GM = 5,62 \text{ m.}$$

Valor que indica que el buque flotará sin riesgo de estabilidad en su estado de lanzamiento.

3.— Cálculo previo sobre las condiciones críticas del lanzamiento

Antes de iniciar el cálculo definitivo es conveniente efectuar un estudio explora-

torio para conocer con antelación las condiciones críticas que se producirían y con el fin de procurar que ellas se expresen dentro de los valores considerados para un lanzamiento normal. En caso contrario, correspondería alterar alguno de los factores ya adoptados inicialmente.

Uno de estos factores es el relativo al largo de las anguilas. Para determinar el largo de las anguilas es práctica usual de ubicar sus extremos en las zonas de los mamparos de pique de proa y popa! que son partes del casco estructuralmente más reforzadas. Especial atención requiere la ubicación del extremo de proa de la anguila, o sea, el apóstol de proa, por cuanto deberá soportar la carga de pivoteamiento durante el movimiento de contrarrafada.

Para deducir la carga de pivoteamiento es necesario calcular el empuje proveniente de las posibles líneas de flotación (WL) con su centro de boyantez o empuje (LCB) y el momento respecto, al apóstol de proa. Esta información se obtiene al trazar dichas líneas de flotación, con la misma inclinación de la grada, en el diagrama de las curvas de Bonjean del buque dado, como se aprecia en la figura N° 2. Con los valores obtenidos se

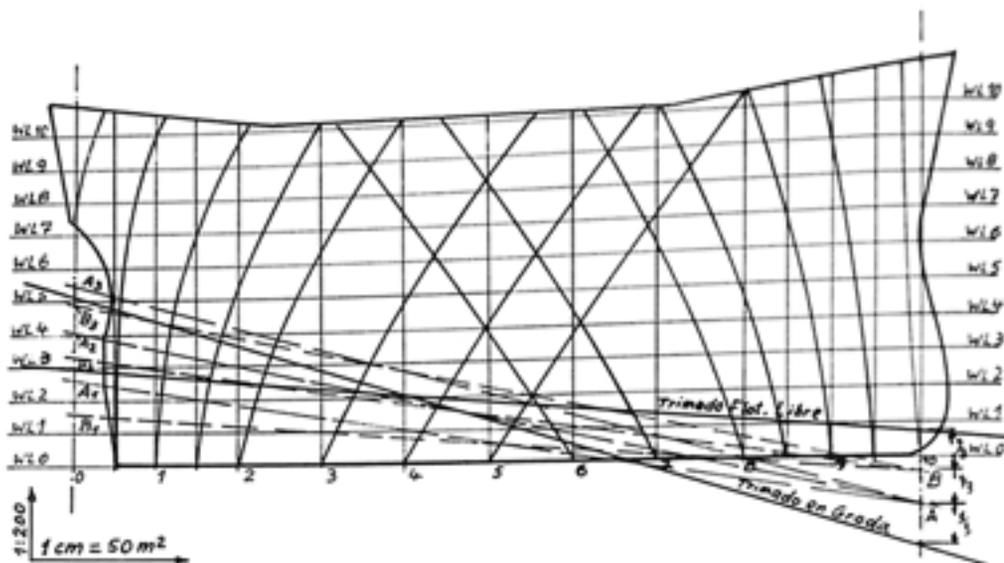


Figura N° 2 CURVAS DE BONJEAN, FLOTACIONES CON TRIMADO.

confecciona el cuadro de calculo N° 3, dado a continuación, siendo en este caso, la distancia del apóstol de proa desde la

perpendicular de popa de 110,5 metros, correspondiendo, por ahora, al largo que tendría la anguila.

CUADRO DE CALCULO N° 3

WL Inclinadas	Empuje	LCB	Momento
2	42	110,5 — 13,87	4.058
3	230	110,5 — 25,00	19.664
4	686	110,5 — 32,44	53.546
5	1484	110,5 — 38,22	107.236
6	2558	110,5 — 43,20	172.141
7	3823	110,5 — 45,98	246.641

Se requiere, además, el momento del peso del lanzamiento con respecto al apóstol de proa:

$$\text{Momento del peso de Lanzamiento} = 2040 (110,5 - 53,67) = 115.933 \text{ ton m.}$$

Los valores obtenidos, correspondientes a las fuerzas de la flotabilidad, del peso de lanzamiento y de sus momentos respecto a esta posición inicial del apóstol de proa, se representan gráficamente en función de las WL inclinadas, que son equivalentes al recorrido durante el lanzamiento, obteniendo así el Diagrama Preliminar de Lanzamiento, dado en la figura N° 3.

Este diagrama permite conocer el valor de la presión máxima que actuará en el apóstol de proa, que en el presente caso resulta en 420 tons, valor que es inferior al límite que se considera tolerable que alcanza a un 25% o 30% del peso de lanzamiento. Sin embargo, respecto al largo de la anguila y posición del apóstol de proa, se observa que la prolongación de la proa del buque con la inclu-

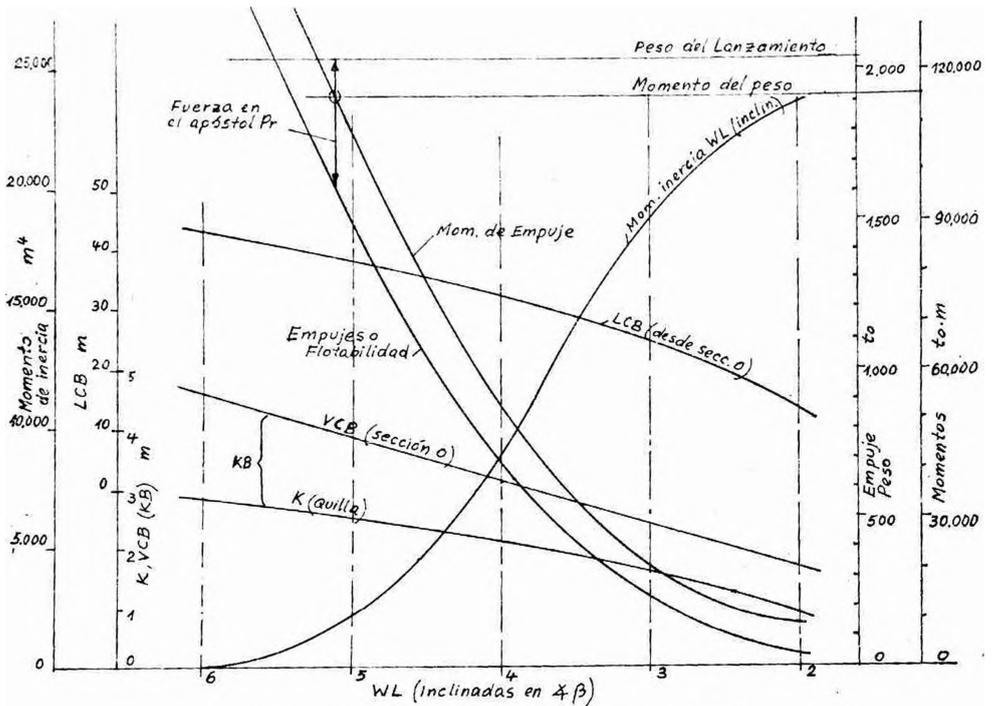


Figura N° 3 DIAGRAMA PRELIMINAR.

sión del bulbo, llega a una distancia aproximada de 10.40 metros y existiría el riesgo que el bulbo golpee contra la imada. En consecuencia es conveniente prolongar la anguila situando el centro del apóstol de proa a 0,84 metros (a popa) de la perpendicular de proa y el extremo en la popa (apóstol de popa) aproximadamente a 3,40 mts. de la perpendicular de popa. De esta manera el largo de la anguila será de 115,00 metros. Este aumento de longitud contribuirá también a disminuir la presión media entre la imada y anguila.

También se han incluido en el Diagrama Preliminar los valores de la inercia transversal de las flotaciones o WL inclinadas, las alturas de los centros de empuje (VCB) y la posición de la quilla respecto a la perpendicular de popa o sección 0 del casco, factores que se aplicarán para la estimación de la estabilidad durante el lanzamiento y que se requerirán más adelante en la etapa 4 del cálculo.

4. — Cálculo Definitivo. Diagrama del Lanzamiento. Estabilidad durante el Lanzamiento. Cálculo de la Presión Resultante. Fuerza que actúa en el Disparo.

El cálculo definitivo, hasta que se inicia la tercera fase en que comienza el giro longitudinal vertical, está basado en el mismo principio aplicado en la etapa preliminar. procedimiento que permitirá un satisfactorio grado de exactitud. Sin embargo, a partir del comienzo del movimiento contra-arfada, la flotabilidad es mayor y la anguila se va separando de la imada, alterándose la inclinación de las líneas de agua (WL) ya consideradas, de modo que deberá adoptarse otro procedimiento de cálculo en esta fase del lanzamiento.

Para salvar esta dificultad se procede a calcular los volúmenes y momentos para ciertas WL de trimado radial con su centro de origen en la perpendicular del apóstol de proa y que cubren el rango de

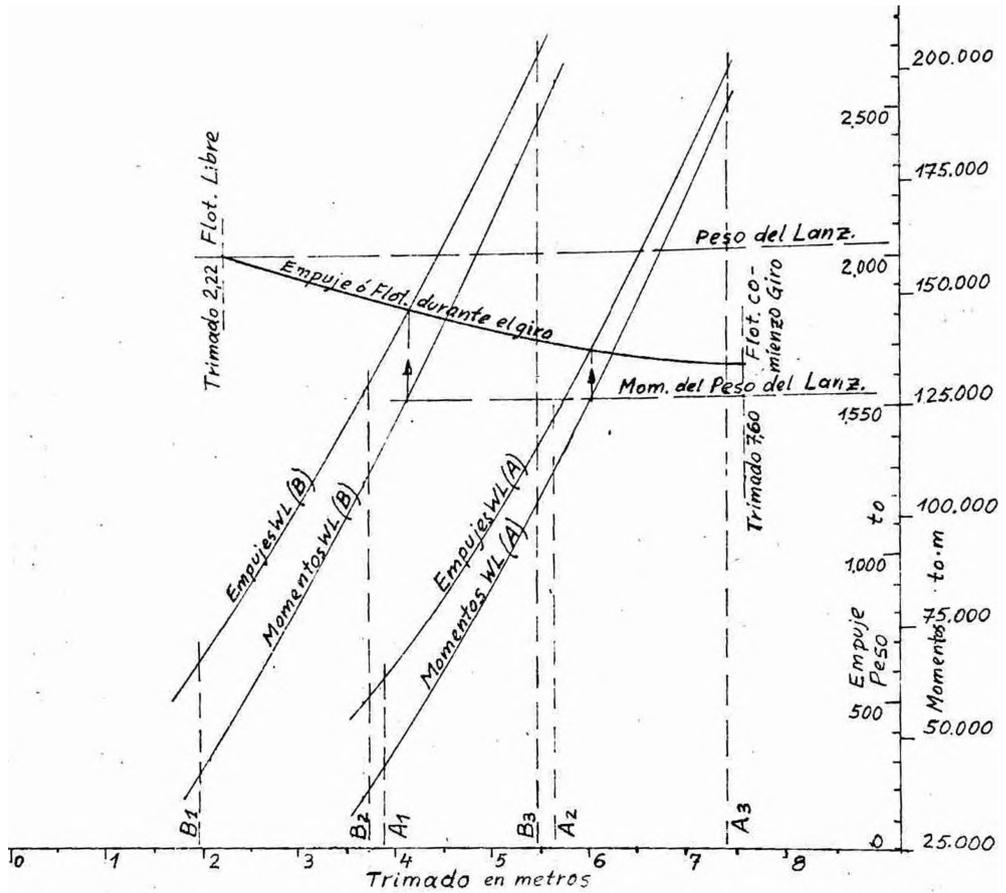


Figura N° 4. OBTENCION FLOTABILIDAD DURANTE EL GIRO.

variación entre el empuje de la flotación libre y de la flotabilidad en el momento del giro. En el presente caso se tomaron dos centros de origen al dividir en tres partes iguales la diferencia de calados en proa, como se puede apreciar en la figura N° 2. Los valores de los empujes y momentos obtenidos, es necesario representarlos en un gráfico en función del trimado, dado en la figura N° 4, determinándose la curva de empuje de la flotabilidad bajo la condición de momentos iguales que alcanza hasta donde se produce la intersección del trimado en flotación libre con el valor del peso del lanzamiento. Los valores de trimado que corresponden a los momentos equivalentes, requieren expresarse en forma de recorrido del lanzamiento para luego ser transferidos al Diagrama del Lanzamiento de-

finitivo, utilizando nuevamente las curvas de Bonjean.

A continuación se incluye separadamente el Cuadro de Calculo N° 4, de carácter definitivo, para obtener los parámetros principales del lanzamiento en función del recorrido. Se considera primero un nivel de marea normal y posteriormente un nivel superior y otro inferior.

Los valores obtenidos se expresan gráficamente en el Diagrama del Lanzamiento que esta dado en la figura N° 5. Como resultado del diagrama, podemos conocer los valores que determinan las condiciones críticas que sucederán durante el lanzamiento. En el presente ejemplo de cálculo se obtienen los siguientes resultados (nivel de agua normal) :

CUADRO DE CALCULO N° 4

Obtención de los Parámetros Principales del Lanzamiento

Altura del agua (marea normal) sobre el extremo imada $t_1 = 2,28$ m.

Denominación	Expresión de cálculo	Recorrido S (WL 2,3,4,5,6 y 7 con inclinación β)						
		30,76	46,14	61,52	76,90	92,28	107,66	
Descenso del punto A	m $mA = S * tg \beta$	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	
Calado en perpendicular de proa	m $Tv = mA - Lpp * \text{sen } \beta$	-5,60	-4,60	-3,60	-2,60	-1,60	-0,60	
Calado en perpendicular de popa	m $Th = Tv + Lpp * \text{sen } \beta$	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	
Flotabilidad o empuje (Desplaz.)	to F	42	230	686	1.484	2.558	3.823	
C. de G. de la flotabil. desde 1/2 Lpp	m (LCB)	-44,63	-33,50	-26,06	-20,28	-15,30	-12,52	
C. de G. flotabil. desde perpend. popa	m (LCB)H = (LCB) + Lpp/2	13,87	25,00	32,44	38,22	43,20	45,98	
Distancia de B desde el extr. imada	m $Bi = Li - La - u - S$	4,24	-11,14	-26,52	-41,90	-57,28	-72,66	
Brazo del empuje desde extr. imada	m $a' = Bi - (LCB)H$	18,11	13,86	5,92	-3,68	-14,08	-101,998	
Momento empuje respecto extr. imada	to-m $F * a'$	761	3.188	4.061	-5.461	-36.017	-26.68	
Momento del peso respecto extr. imada	to-m $P' = g + 35 - S$	57,91	42,53	27,15	11,77	-3,61	-18,99	
Brazo del empuje desde ápóstol proa	m $W * P'$	118.136	86.761	55.386	24.011	-7.364	269.445	
Momento empuje respecto ápóstol proa	to-m $a = Lpp - v - (LCB)H$	102,29	91,16	83,72	77,94	72,96	-38.740	
Brazo del peso desde extr. imada	m $F * a$	4.296	20.967	57.432	115.663	186.632	70,48	
Fuerza o reacción en la imada	to $N = W - F$	1.998	1.810	1.354	556	-518	-1.783	

Diferencia momentos respecto ápóstol	to-m	$W * p - F * a$	123.183	106.513	70.048	11.817	-59.152	-141.965
Punto de aplicación de N desde ápóstol proa	m	$r = \frac{W * p - F * a}{N}$	61,65	58,85	51,73	21,25	----	----
Momento contra-arfada	to-m	$W * p' - F * a'$	117.376	83.573	51.325	29.472	28.652	47.966
Punto de aplicación de N desde extr. imada	m	$r' = \frac{W * p' - F * a'}{N}$	58,75	46,17	37,91	53,00	----	----
largo de contacto imada - anguila	m	$l = Li - S$	115,00	107,76	92,38	77,00	61,62	46,24
Valor de r en función de l		$\frac{r}{l}$	0,541	0,551	0,561	0,281	----	----
Longitud carga distribuida sobre imada	to	$= 3 (l - r) \text{ si } r > 0,661$ $lc = 3r \text{ Si } r < 0,331$ $= l \text{ Si } 0,331 < r < 0,661$	115,00	107,76	92,38	63,75	----	----
Carga o presión media sobre imada	to	$qm = \frac{N}{b * lc}$	23,17	22,40	19,54	11,63	---	---
Diferencia máxima de presión (0,33 l < r < 0,66 l)	to	$q = \frac{3 * qm (lc - 2r)}{lc}$	-5,02	-6,20	-7-03	11,63	----	----
Carga o presión en el ápóstol Pr.	to	$qv = 2qm \text{ Si } r < 0,331$ $qv = qm + q \text{ Si } 0,331 < r < 0,661$	18,15	16,20	12,51	23,26	----	----
Carga o presión en extr. imada	to	$qh = 2qm \text{ Si } r > 0,661$ $qh = qm - q \text{ Si } 0,331 < r < 0,661$	28,19	28,60	26,57	0	----	----

Para el nivel superior e inferior de marea ($t_2 = 2.78$ m. y $t_3 = 1,78$ m.) se aplica el mismo cuadro de cálculo, alterando el re-

corrido en $\delta S = \frac{t_2 - t_1}{\text{tg } \beta}$ y en consecuencia los valores se calculan según el nuevo recorrido $S \pm \delta S$

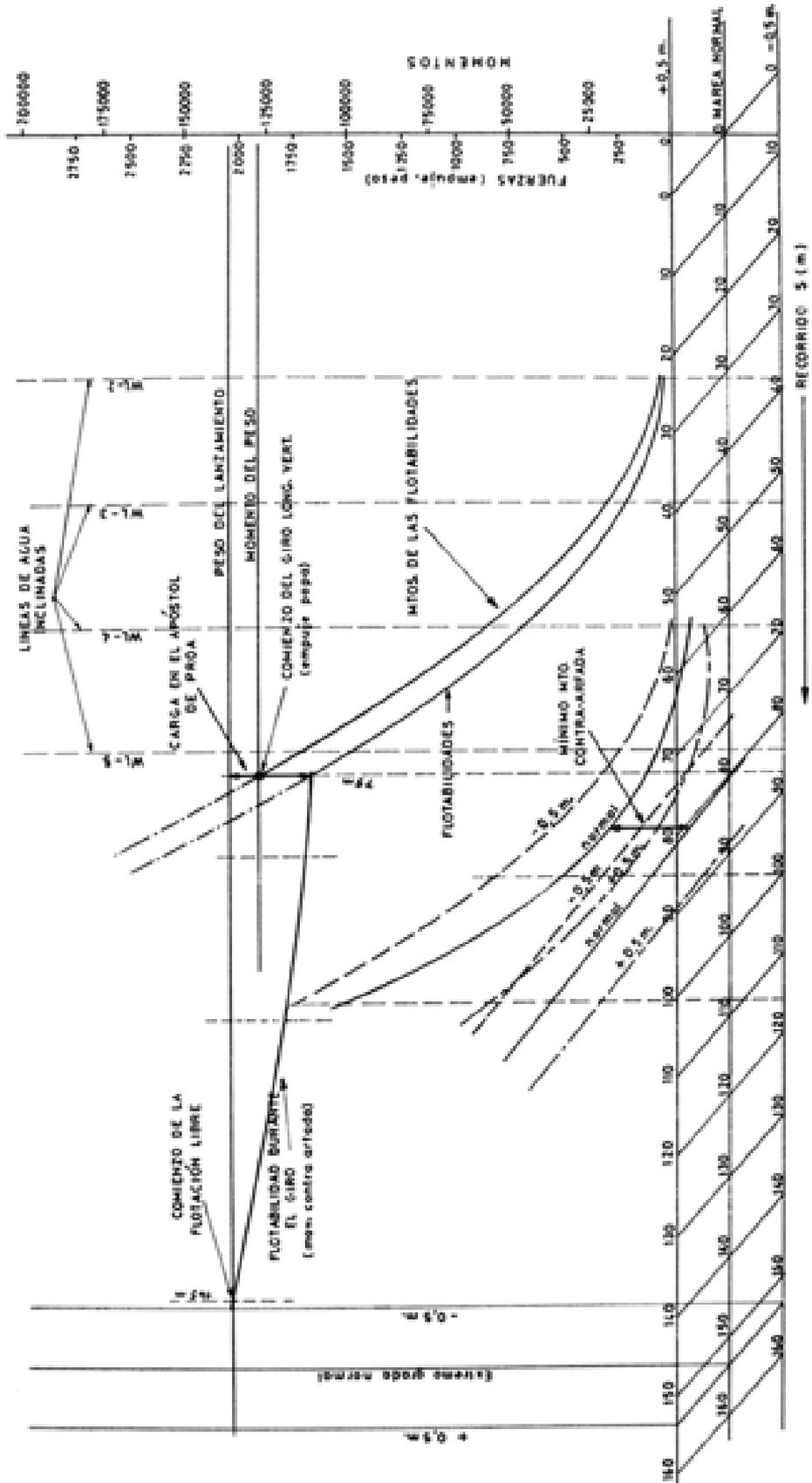


Figura Nº 5 DIAGRAMA DEL LANZAMIENTO.

Fuerza o presión máxima en el apóstol de proa — 375 ton.

Empuje o flotabilidad en el instante de giro = 1.650 ton.

Recorrido hasta el instante de giro 79 m.

Recorrido hasta la flotabilidad libre = 145 m.

Momento mínimo contra-arfada = 25.000 ton. métricas.

Respecto de la estabilidad durante el lanzamiento la situación más crítica se presenta en el instante de giro de la popa, o sea, en el comienzo del movimiento contra-arfada. En el ejemplo de cálculo que consideramos esto sucede cuando el recorrido del buque es aproximadamente de 79 metros. Para esta posición, de la figura N° 3, tenemos la siguiente información:

Momento de inercia del plano de flotación I = 20.250 m⁴.

Altura del centro de flotab. en relación a la quilla KB = 1,45 m.

Volumen desplazado (lanzamiento en agua dulce). ∇ = 1.650 m³.

En consecuencia:

$$\text{Radio metacéntrico} \\ \text{BM} - \frac{I}{\Delta} = \frac{20250}{1650} = 12,27 \text{ m.}$$

Como debe producirse la igualdad de los momentos del peso y del empuje tenemos:

LCB desde apóstol de proa =

$$\frac{2040 \cdot 62,49}{1650} = 77,26 \text{ m.}$$

y por lo tanto:

LCB desde perpendicular de popa = 38,90 m.

La altura sobre la quilla en la posición de LCB (KA) de la fuerza resultante (375 ton.) que actúa en el apóstol de proa, en el instante de giro, es:

$$\text{KA} = 77,26 \cdot \text{sen } 3,72^\circ = 5,01 \text{ m.}$$

Además, la altura desde la quilla del centro de gravedad del peso del buque en la posición de LCB, es:

$$\text{KG} = (53,67 - 38,90 \text{ sen } 3,72^\circ + 6,38 = 7,34 \text{ m.}$$

En consecuencia, la altura al centro de gravedad virtual en el instante de giro es:

$$\text{KG} = \frac{2040,7,34 - 375,5,01}{1650} = 7,94 \text{ m.}$$

Por lo tanto, la altura metacéntrica para este instante es:

$$\text{GM}' = \text{KB} + \text{BM} - \text{KG}'$$

$$\text{GM}' = 1,45 + 12,27 - 7,94$$

$$\text{GM}' = 5,78 \text{ m.}$$

Resultado plenamente satisfactorio para la condición considerada durante el lanzamiento.

Para el cálculo de la presión inicial sobre la imada, tomando en cuenta la conformación articulada de la anguila, se tiene:

Area de contacto de cada componente de la anguila = 0,75 · 5,47 = 4,10 metros cuadrados.

Para soportar el peso del lanzamiento de 2.040 ton. se utilizará un total de 20 componentes, considerando a 17 como efectivos, siendo excluidos para el cálculo de la presión media los apóstoles de proa y popa y el componente de retención, donde está ubicado el gatillo de disparo, por lo tanto, tenemos:

$$\text{Presión} \quad 2040 \\ \text{media} \quad \frac{\quad}{4,10 \cdot 17} = 29,27 \text{ ton./m}^2.$$

Valor que resulta satisfactorio.

Para la presión durante el pivoteo se deberá diseñar el apóstol de proa de modo que no alcance valores excesivos, estimando como presión aceptable aproximadamente 110 ton./m². Como la carga de pivoteo es 375 ton., tenemos:

$$\text{Area requerida del apóstol proa} \\ \frac{375}{110} = 3,4 \text{ m}^2.$$

Largo aproximado del apóstol proa =

$$\frac{3,41}{0,75} = 4,55 \text{ m.}$$

La fuerza que actúa en el gatillo de disparo es la siguiente:

$$\text{Fuerza} = W \cdot \text{sen } 3,72^\circ - W \cdot f \cdot \text{cos } 3,72^\circ \\ = 2040 \cdot 0,0649 - 2040 \cdot 0,02 \cdot 0,998 \\ = 132,40 - 40,72 - 92 \text{ ton.}$$

5. — Efectos dinámicos del Lanzamiento.
Velocidad. Balance de energía. Recorrido libre.

Los principales efectos dinámicos del lanzamiento deben ser conocidos, especialmente la velocidad y el recorrido en flotación libre hasta que el buque se detiene. Particular relevancia adquiere este estudio cuando la vía de agua está limitada, debiendo adoptarse medios de frenado o retenidas.

En la primera fase o corrimiento en seco no hay influencia del agua sobre el casco y la velocidad se calcula simplemente por la fórmula siguiente:

$$v, - \sqrt{2 g (\beta - fd) S},$$

siendo:

fd— coeficiente de fricción dinámico.

En las fases siguientes la velocidad se podrá calcular basada en la ecuación diferencial del movimiento:

$$(W - F) \operatorname{sen} \beta - fd (W - F) - R_w - W$$

$$RD = \frac{\dots}{g} \cdot a$$

siendo:

Rw = resistencia opuesta por el agua.

RD = resistencia de los medios de frenado.

a = aceleración del movimiento,

g = aceleración de gravedad.

El valor de la velocidad se puede obtener aplicando el cuadro de Calculo N° 5 consignado en la figura N° 6. Los resultados obtenidos están en la misma figura.

En el diagrama de energía, dado en la figura N° 6, las fuerzas que actúan se expresan en función del recorrido. La integración de la fuerza resultante que produce la aceleración es la energía del movimiento que deberá ser absorbida por la energía proveniente de la resistencia del agua y del dispositivo de frenado si existiere. La extensión del recorrido libre del buque queda determinada hasta donde se produce la equivalencia de las áreas respectivas en el diagrama (zonas achuradas), es decir, cuando ha ocurrido el balance de energía.

Para el presente ejemplo, el recorrido total hasta que se detiene el buque alcanza a mas o menos 390 m., siendo el recorrido libre en el agua aproximadamente de 245 metros.

Bibliografía:

- 1.—Semyonov - Tyan - Shansky, V., "Statics and Dynamics of the Ship", 1965.
- 2.—Henschke W., "Schiffbautechnische Handbuch", Tomo I - 1960.
- 3.—Comstock J., "Principles of Naval Architecture", SNAME - 1967.
- 4.—Gray R., "The Dynamics of Launching Transactions, N.E.C.I., 1959-60.

