

# Botadura del "Escorial", buque mixto de carga y pasaje

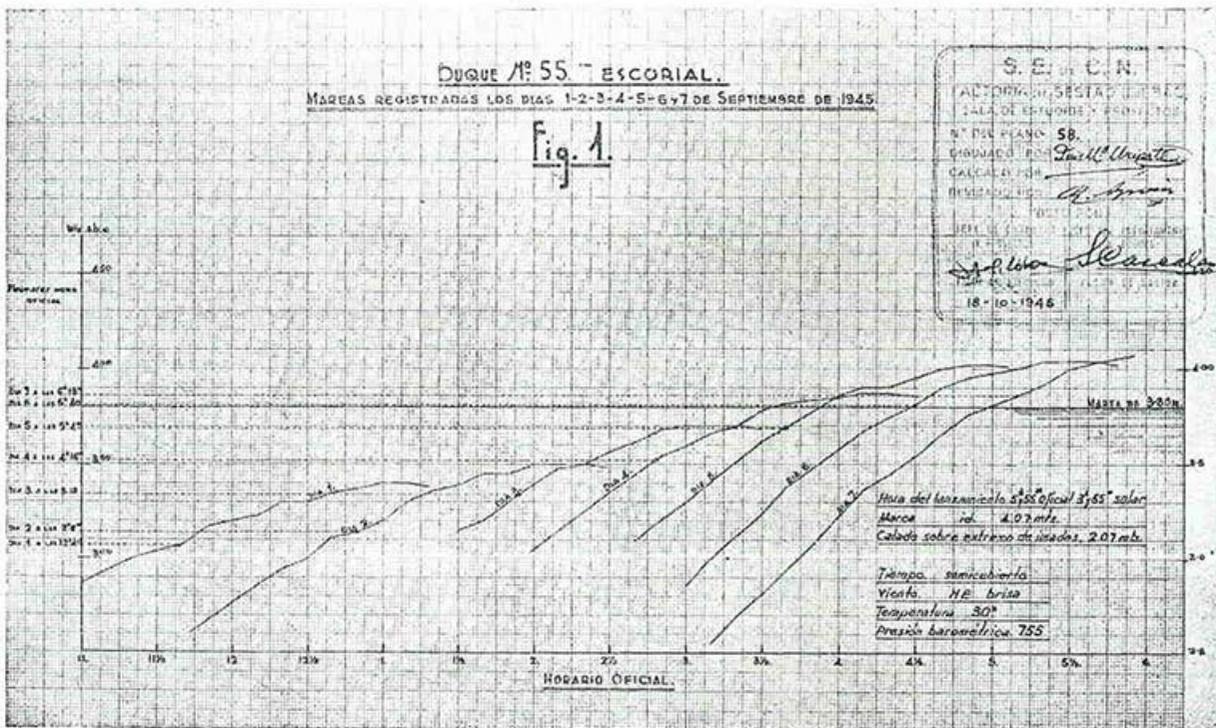
Con asistencia del excelentísimo señor Ministro de Marina, y actuando de madrina la esposa del excelentísimo señor Ministro de Industria, se efectuó la botadura de este buque el día 7 del pasado septiembre, siendo el "Escorial" el primero de la serie de cuatro iguales que en la Factoría de Sestao de la Sociedad Española de Construcción Naval tiene contratada la Empresa Nacional Elcano.

Las características principales son:

- Eslora entre p. p., 138,68 metros.
- Eslora máxima, 148,12 metros.
- Manga fuera de miembros, 18,92 metros.
- Puntal a la cubierta principal, 9,10 metros.

- Puntal a la cubierta superior, 12,10 metros.
- Calado en carga, 7,90 metros.
- Desplazamiento, 14.540 toneladas.
- Peso muerto, 8.700 toneladas.
- Arqueo bruto aproximado, 6.500 toneladas.
- Número de pasajeros, 40-50.
- Velocidad a media carga, 17,5 nudos.
- Potencia efectiva, 7.300 BHP.
- R. P. M., 132.

El estudio del lanzamiento se hizo a base de una altura de marea de 3,80 metros, habiéndose empezado a señalar las mareas ocho días antes para determinar las variaciones probables en el día del lanzamiento, y en la figura 1 se po-



drán apreciar los distintos aumentos alcanzados el día 7, llegando a 27 metros sobre la altura teórica, habiéndose efectuado el lanzamiento con esta altura de marea.

Tampoco la temperatura resultó igual a la prevista, ya que días antes, y después del lanzamiento, fué bastante fresca, alcanzando el día fijado temperaturas ambiente de más de 30° centígrados, lo que hizo reblandecer el sebo hasta el extremo de quedar casi limpias las imadas en grandes espacios, y haciendo que el buque produjera humo al entrar en el agua, no apreciándose después sobre la imada huellas de quemaduras.

Las almohadas de pantoque (7 por banda) y 13 de los últimos picaderos de popa estaban provistos de cajas de arena, y habiéndose llevado todas las operaciones de apriete normalmente, se dejó el buque libre de puntales de boca, fondo y pantoque, como igualmente de las almohadas, quedando sobre las retenidas eléctricas un cuarto de hora antes de efectuar el disparo para el lanzamiento.

Las distintas pruebas efectuadas sobre la proporción de sebo y parafina más conveniente para la temperatura observada en los días que precedieron a la botadura, hizo adoptar tres de parafina por 100 partes de sebo, habiendo desechado el 5 y 7 por 100 ante el temor de un resquebrajamiento en la capa de sebo, cuando en realidad, y ante la temperatura que reinó en el día del lanzamiento, un 10 por 100 no hubiera sido proporción exagerada.

Sobre la capa de sebo se le dió una capa de jaboncillo, colocando pellas de jaboncillo y un riego de aceite al colocar las anguilas sobre las imadas. Este jaboncillo es una mezcla en caliente de sebo y aceite mineral, habiendo empleado dicha mezcla en anteriores botaduras con éxito.

#### ESTUDIO RESISTENTE.

##### *Parte de popa en voladizo.*

Por tratarse de un buque de una hélice, carecer de arbotantes donde apoyar la cuna del lanzamiento y ser muy acusados los finos de popa, fué obligada la colocación de los santos a una distancia de 18 metros del extremo del buque, para no llegar a alturas exageradas, originando

todo ello esfuerzos, deformaciones y fatigas, que se estudiaron, considerándolo como la deformación de una viga en un medio elástico continuo, siendo la viga el buque y el medio elástico los santos, los cuales aun cuando no son continuos, se les ha considerado así desde el punto de vista de la deformación, sustituyéndolos por una superficie continua.

La deformación en el extremo de popa de los santos viene dada por

$$\delta = \frac{P + \beta M_0}{2 \beta^3 E I_z}$$

donde

$P$  = peso del saliente = 283.000 kgs. (cuando se hizo el cálculo se consideró estarían montados hélice y timón).

$M_0$  = momento con relación al extremo de santos =  $800 P = 225.16^6$  kgs./cm.

$E$  = módulo de elasticidad de la viga =  $2,16^6$  kgs./cm<sup>2</sup>.

$I_z$  = momento de inercia de la viga =  $16 \times 10^8$  cm<sup>4</sup> (ver figura 2).

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4 E I_z}}$$

donde  $K$  es la carga que hay que colocar sobre cada centímetro de longitud del medio elástico continuo para que descienda un centímetro.

Considerando que los santos tienen una altura media de 1,5 metros, y que el módulo de elasticidad de la madera = 100.000 kgs./cm<sup>2</sup>.

Se obtiene  $K = 66,6 \times 10^3$ , de donde  $\delta = 1/33,5$  cm., con lo que el esfuerzo por centímetro cuadrado en el extremo de popa de los santos será:

$$100.000 = \frac{x}{1/33,5}; \quad x = 20 \text{ kgs./cm}^2$$

150

A esta presión hay que añadir la debida a la parte del casco situada sobre imadas, que es, aproximadamente, 2 kgs./cm<sup>2</sup>.

El gráfico de la figura 3 está deducido bajo la hipótesis de un ancho de imadas ficticio, de 100 centímetros, y muestra el reparto aproxi-

mado de las cargas suponiendo 22 kgs./cm<sup>2</sup> en el extremo popa de los santos.

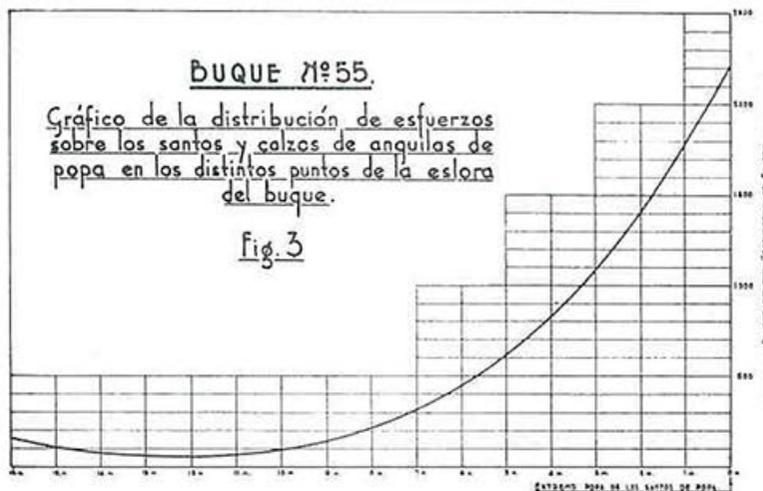
Del gráfico anterior, y suponiendo que los dos últimos santos de popa soportan la carga correspondiente a un metro de longitud, o sea, 200.000 kgs., repartidos entre los dos santos, queda 100.000 kgs. por santo.

Como el forro forma con la dirección de los santos un ángulo de alrededor de 30 grados, re-

*Resistencia de la soldadura de los apoyos de los santos fijados al casco.*

Cada apoyo tiene 4,20 metros de soldadura, aproximadamente de un centímetro de anchura; el empuje tangencial de la soldadura será:

$$\frac{100.000 \cos 30^\circ}{420} = 206 \text{ kgs./cm}^2.$$



sulta, aproximadamente, un esfuerzo de compresión sobre el forro de

$$\frac{100.000 \sin^2 30}{90 \times 60} = 4,6 \text{ kgs./cm}^2$$

habiéndose apuntalado convenientemente el interior en las partes del casco correspondiente a dicha compresión.

*Momento flector producido por la parte de popa en voladizo.*

En la figura 2 puede verse el cálculo detallado, que muestra que la fatiga máxima no pasa de 111 kgs./cm<sup>2</sup>.

*Resistencia de la madera de los santos.*

La fatiga máxima a la compresión de los santos, según se ha visto, es alrededor de 22 kilogramos por centímetro cuadrado; la carga de rotura a la compresión de la madera empleada es superior a 300 kgs./cm<sup>2</sup>.

Siendo la carga de trabajo de la soldadura alrededor de 800 kgs./cm<sup>2</sup>.

*Resistencia de los atirantados (cables, grillete y espárragos).*

La componente en la dirección de los atirantados es alrededor de

$$100.000 \times \tan. 11^\circ = 20.000 \text{ kgs.}$$

la cual, suponiéndola soportada por los cables, grilletes y espárragos sin contar las cadenas, se tiene:

*Cables.* — Hay dos con una resistencia de 30.000 kgs. cada uno.

*Grillete.*—Tiene un diámetro de 35 mm., siendo su fatiga.

$$10.000 : \frac{2 \times \pi \times 3,5^2}{4} = 520 \text{ kgs./cm}^2.$$

*Espárragos.*—Su fatiga será:

$$10.000 : \frac{\pi \times 4,5^2}{4} = 528 \text{ kgs./cm}^2.$$

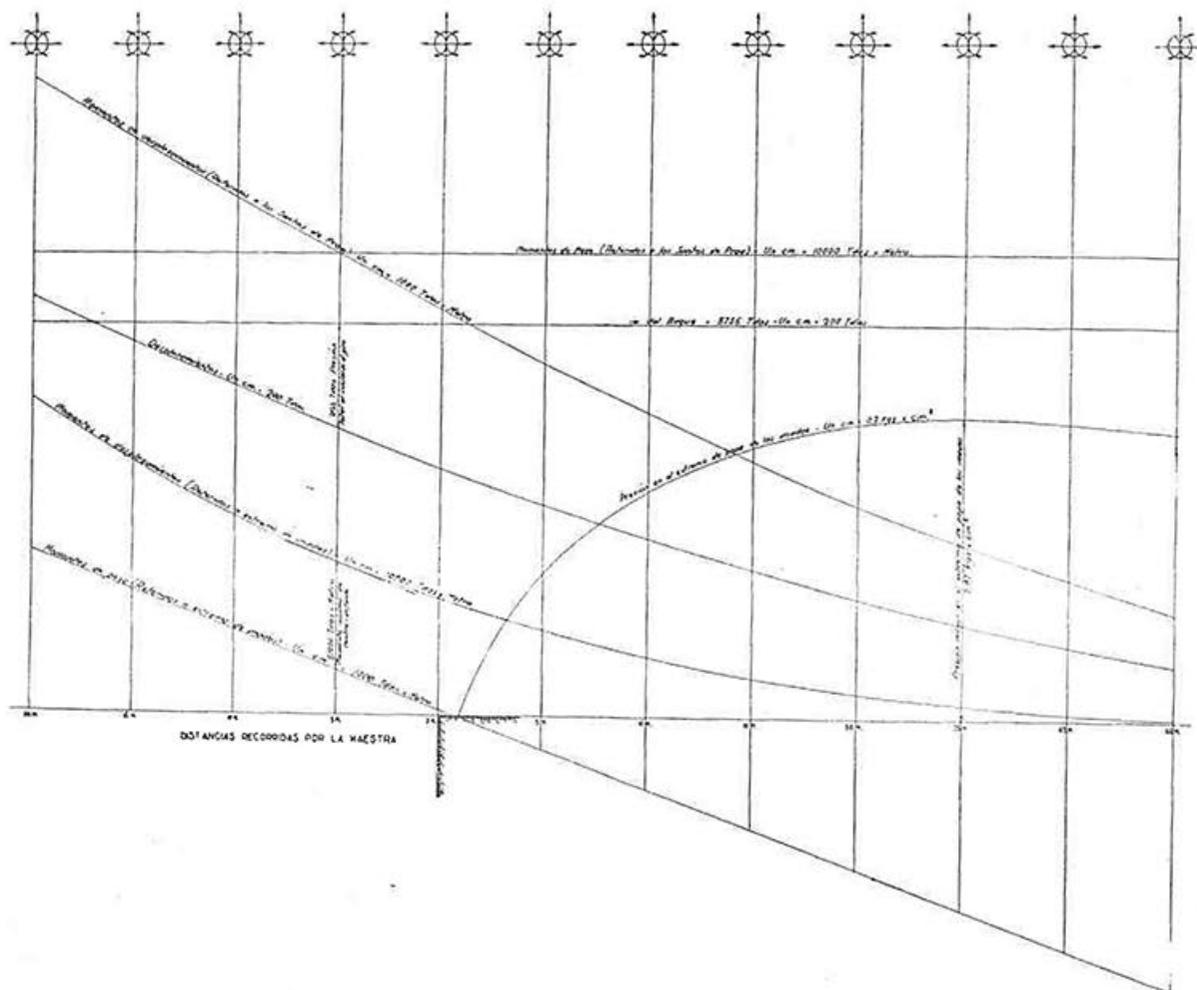
Comprobándose, por consiguiente, fatigas muy moderadas, sin tener en cuenta la resistencia de la cadena no considerada.

objeto de disminuir dicha presión y evitar que pudiese clavarse ésta sobre la imada al iniciar el movimiento.

BUQUE Nº 55  
 ≡ ESCORIAL ≡

ESTUDIO ESTÁTICO DEL LANZAMIENTO

Fig. 5.



*Resistencia del sebo.*

Teniendo en cuenta que la fatiga en el extremo de popa de los santos es alrededor de 22 kilogramos por centímetro cuadrado, y que la relación de secciones entre los santos y las anguilas es como 1 : 1,80, la fatiga que tendría que soportar el sebo en este punto es alrededor de 12 kgs./cm<sup>2</sup>. Por parecer algo excesiva se han prolongado las anguilas en forma de patín, con

*Presión en los santos de proa al iniciarse el giro.*

Con la marea prevista de 3,80 metros, la fuerza que actúa al iniciarse el giro es 995 toneladas. Admitiendo que los dos santos delanteros soportarían  $995/3 = 332$  toneladas, y siguiendo el criterio de Hillhouse, de que la presión soportada por el delantero de estos dos santos es aproximadamente el doble de la del segundo, se llega a una fatiga de compresión en la madera

de unos 24 kgs./cm<sup>2</sup>, muy lejos de la carga de rotura.

El esfuerzo de compresión contra el forro es 4,4 kgs./cm<sup>2</sup>, aproximadamente, habiéndose reforzado interiormente el casco apuntalándolo con cruces de San Andrés.

Como anteriormente, las diversas partes resistentes de los santos de proa se comprobaron ser de resistencia suficiente en todos los casos.

ESTUDIO ESTÁTICO DE LANZAMIENTO.

En la figura 5 pueden verse las curvas referentes al cálculo estático del lanzamiento. Estos cálculos están referidos a la marca de 4,07 metros con que se botó el buque. En él puede verse que la máxima presión en el extremo de imadas fuese muy moderada.

Los principales detalles del lanzamiento son:

Inclinación de la quilla, 5 por 100.

Inclinación de las imadas, 5,25 por 100.

Distancia de la P. Po al extremo de imadas (s/imadas), 19,50 metros.

Distancia de la P. Po al extremo popa de anguilas (s/anguilas), 9,65 metros.

Distancia de la P. Pr al extremo proa de anguilas (s/anguilas), 9,86 metros.

Desplazamiento en el lanzamiento, 3.735 toneladas.

Calado a proa con dicho desplazamiento, 2,380 metros.

Calado a popa con dicho desplazamiento, 2,61 metros.

Calado medio, 2,495 metros.

Marea, 4,07 metros.

Altura de agua sobre extremo de imadas, 2,07 metros.

Calado en los santos de proa sobre la cara inferior de las anguilas al flotar el buque, 2,017 metros.

Saludo, 0,847 metros.

Longitud total de las anguilas, 119,28 metros.

Ancho de las anguilas, 0,89 metros.

Separación de las anguilas (centro a centro), 5,50 metros.

Area total de las anguilas (116.315 × 0,89 × 2), 212,32 metros cuadrados.

Peso del casco más lastres, 3.735 toneladas.

Peso de la basada (aproximado), 130 toneladas.

Presión media por centímetro cuadrado, 1,82 kilogramos por centímetro cuadrado.

Componente normal = 3.865 × 0,9986, 3.860 toneladas.

Componente paralela = 3.865 × 0,05245, 199 toneladas.

Rozamiento inicial = 3.865 × 0,9986 × 0,05, 193 toneladas.

Remanente paralelo, 6 toneladas.

Presión al iniciarse el giro a 53,277 metros del extremo de las imadas, 995 toneladas.

Presión unitaria sobre imadas debajo de los santos al iniciarse el giro = 995.000/160.000, 6.215 kgs./cm<sup>2</sup>.

Camino recorrido hasta que empieza a levantar la popa, 93.724 metros.

Inmersión máxima de la popa, 4,906 metros.

ESTUDIO DEL PERFIL DE LA ANTEGRADA EN EL LANZAMIENTO.

Para ver las partes y profundidades de la antegrada que habría que dragar se estudió la trayectoria aproximada que seguiría el codaste del buque con una marea mínima de 3,80 metros.

Para determinar el punto de máximo calado que en realidad tiene algo desplazado respecto al punto teórico que se obtiene del cálculo estático del lanzamiento, se obtuvo de la fórmula usualmente empleada en estos casos:

$$x = 0,145 v \sqrt{l}$$

en la que

v = velocidad en m/sg. del buque en ese momento.

l = eslora del buque en metros.

lo que dió X = 8,55 metros, habiendo supuesto v = 5 m/sg., que es lo que se añadió a la distancia teórica.

Para la determinación de la máxima profundidad se aplicó la fórmula:

$$\frac{p}{pe} = 1,0 + 0,141 \frac{v}{\sqrt{l}}$$

siendo:

p = máxima profundidad.

pe = maxima profundidad según calculo estático.

En nuestro caso resultará:

$$\frac{p}{pe} = 1,06.$$

*Saludo.*—Con marea de 3,80 resultó un saludo teórico de 1,24 metros. Para ver el tiempo aproximado en que éste se produce, se aplicó la fórmula:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{M}{F \gamma}}$$

donde

$T$  = período aproximado de oscilación vertical del buque.

$M$  = masa del buque más agua que arrastre.

$F$  = área de la línea de agua.

$\gamma$  = peso específico del agua.

En nuestro caso salió:  $T = 7$  segundos.

Se supuso que la velocidad del buque en ese momento sería alrededor de 5,5 m/sg., con lo que el punto mínimo lo alcanzaría a la distan-

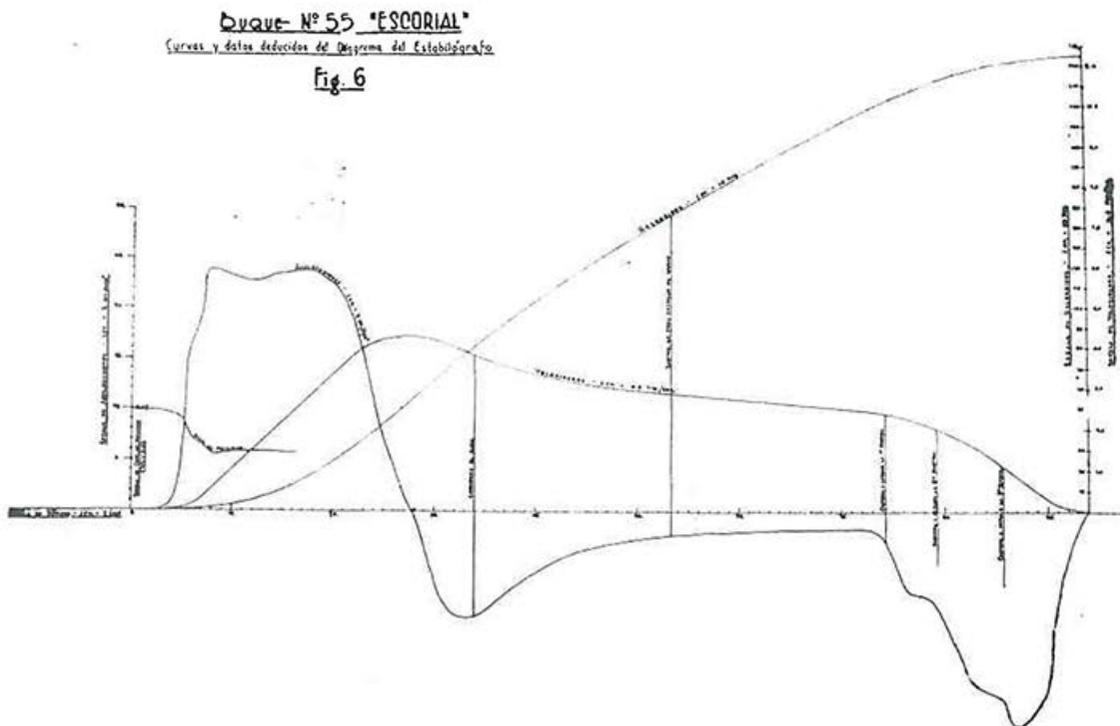
#### ESTUDIO DINÁMICO DEL LANZAMIENTO CON MAREA DE 3,80 METROS.

Aunque el coeficiente de fricción en anguilas es variable en los distintos puntos del recorrido del buque, a causa de no conocer con exactitud esta variación, se ha preferido tomar un coeficiente fijo, siguiendo el criterio de los cálculos del lanzamiento del "Queen Mary" y "Nieuw Amsterdam", excepto en los primeros metros, que se ha tomado un coeficiente algo mayor. Estos coeficientes adoptados han sido:

$f_1 = 0,0035$  en los 5 primeros metros.

$f_2 = 0,023$  a partir de los 5 primeros metros.

Para tener en cuenta la resistencia del agua, se aplicó la fórmula  $R = K B^{2/3} v^2$ , donde  $B$  es



cia  $T/2 \cdot v = 19,2$  metros, después de abandonar las imadas.

Con todos estos datos, y teniendo en cuenta que el saludo real puede llegar a ser el doble del teórico por los efectos dinámicos, se trazó la trayectoria de la roda, codaste y extremos de anguilas, y dejando un margen conveniente se dibujó el perfil del lecho del río hasta donde debía llegar el dragado.

el empuje,  $K$  un coeficiente que varía en cada caso particular y  $v$  la velocidad, ya que esta resistencia al depender principalmente de la fricción sobre la superficie del casco y laterales de las anguilas de la resistencia sobre el aérea de la cuna, es razonable poner la resistencia en función de un área como  $B^{2/3}$ .

La fórmula empleada desde que la perpendicular de popa tocó agua hasta que se inicia el

giro y desde que se inicia hasta que flota el buque, ha sido la siguiente ecuación general de energía:

$$\frac{1}{2} \left( \frac{P}{g} + K B^{3/4} s \right) V_p^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{P}{g} + K B^{3/4} s \right) V_{p-1}^2 + (P - B) (\text{sen } \theta - f \text{ cos } \theta) s$$

donde

- $P$  = peso del buque en toneladas.
- $B$  = empuje en el recorrido considerado en toneladas.
- $K$  = coeficiente que se tomó, 0,0071.
- $f$  = coeficiente de fricción, cuyos valores se indican más arriba.
- $g$  = aceleración de la gravedad en m/sg<sup>2</sup>.
- $\theta$  = ángulo de inclinación de las imadas.
- $V_{p-1}$  y  $V_p$  = velocidades inicial y final de cada intervalo considerado en m/sg.
- $s$  = longitud de cada intervalo en metros.

y como el buque flota  $P = B$ , y además

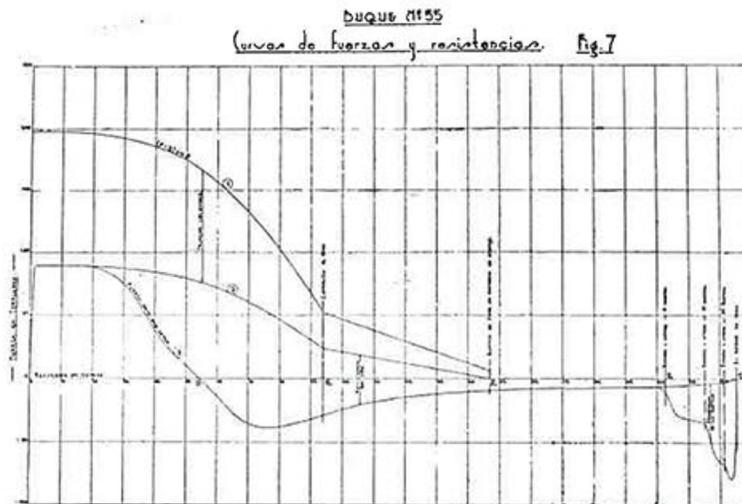
$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot v;$$

luego

$$\frac{dv}{v} = - \frac{Kg.}{p^{1/4}} ds$$

que integrado y teniendo en cuenta que para  $s = 0$  y  $v = v_1$ , nos da la fórmula [1], que tiene la ventaja de permitir obtener la velocidad final sin necesidad de recurrir a dividir el camino en varios intervalos.

El peso de las rastras se calculó a base de que el buque se parase a unos 120 metros después



Desde que el buque flota hasta que empiezan a actuar los lastres, se empleó la fórmula:

$$V_2 = \frac{V_1}{\frac{Kg.}{e p^{1/4}} \cdot s} \quad [1]$$

Desde  $V_1$  y  $V_2$  son las velocidades iniciales y final y  $e = 2,718$  la base de los logaritmos neperianos, y las demás letras tienen el mismo significado que anteriormente.

Esta fórmula tiene la siguiente deducción:

$$\frac{P}{g} \frac{dv}{dt} = - K B^{3/4} V^2$$

de abandonar las imadas, para lo cual se empleó la fórmula:

$$Q = \frac{K P^{2/3} V}{\frac{2 Kg. (e_1 + e_2)}{p^{1/4}} + (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot e} - \varphi_1 \quad [2]$$

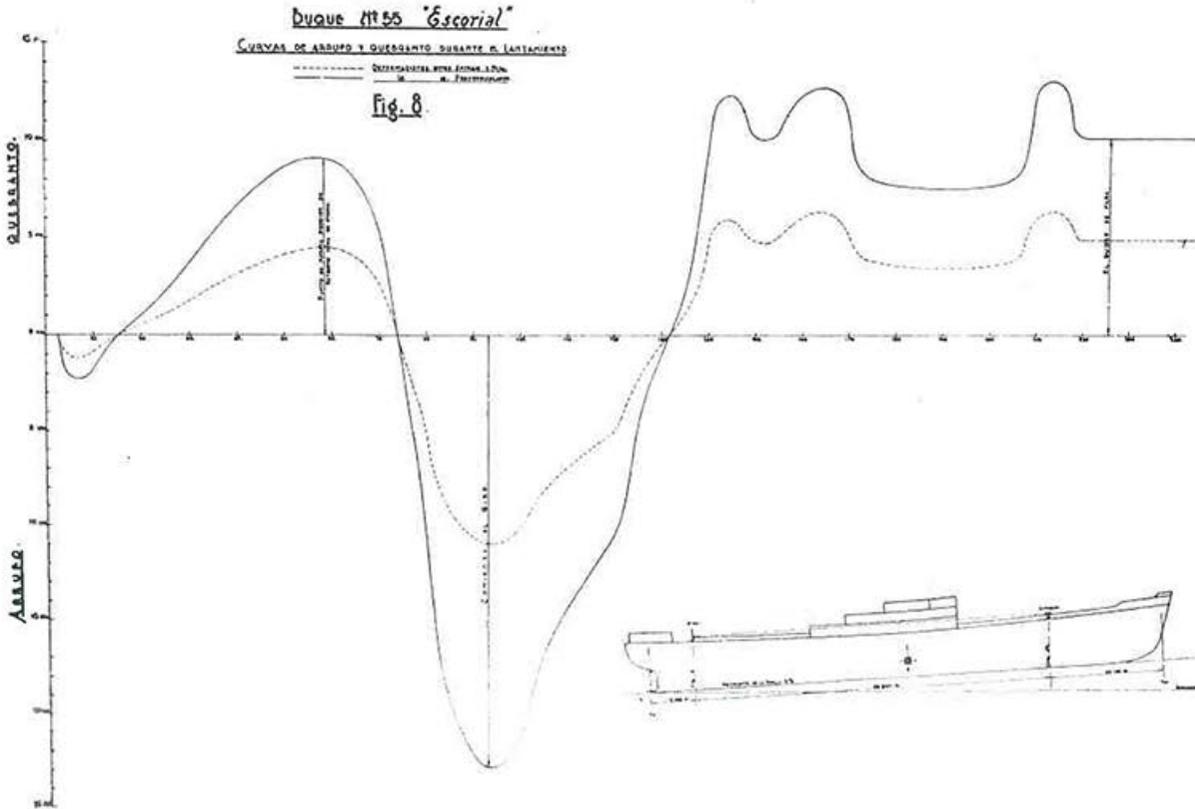
donde

- $Q$  = peso de las rastras.
- $\varphi_1$  = coeficiente de fricción de las rastras sobre la parte de tierra de la grada.
- $\varphi_2$  = coeficiente de fricción de las rastras sobre la parte de cemento de la grada.
- $e_1$  = recorrido en metros de las rastras sobre la tierra de la grada.
- $e_2$  = recorrido en metros de las rastras sobre el cemento de la grada.
- $V$  = velocidad de m/sg. en el instante en que comienzan a actuar las rastras.

Las demás letras tienen el mismo significado que anteriormente.

La deducción de la fórmula [2] es parecida a la dada para la fórmula [1], teniendo en cuenta que a la resistencia  $K B^{2/3} v^2$  se suma la de las rastras igual  $\varphi \cdot Q$ .

buque librara el trozo de muelle situado a continuación de la grada, paralelamente al cual, y a muy próxima distancia, corre el buque al encontrarse flotando inmediatamente después de abandonar la grada, con objeto de evitar que el brusco tirón que producen las rastras al empe-



ESTABILÓGRAFO.

En la figura 6 pueden verse las curvas de aceleraciones, coeficientes de fricción, velocidades y espacios recorridos deducidos del estabilógrafo Mc. Innes. El buque comenzó su movimiento en el momento mismo de romperse la botella contra el casco, al caer las dos últimas llaves de retenida, y no hubo necesidad de hacer actuar los gatos hidráulicos preparados al efecto.

Se deslizó por las imadas suavemente y sin ningún contratiempo, alcanzando la velocidad máxima de 4,3 m/s. y quedando parado en medio de la ría 94 segundos después de haberse iniciado su movimiento. Las rastras de cadenas, 12 montones de 15 toneladas cada una, empezaron a actuar después que la mayor parte del

zar a actuar pudiera desviar al buque de su trayectoria rectilínea, haciendo que el costado de babor del casco rozase con el muelle.

FUERZAS Y RESISTENCIAS.

En esta figura 7 se representa la curva (1) (Peso-desplazamiento). Sen  $\theta$  igual prácticamente a  $(P - B) \theta$ , o sea, la componente paralela, es obtenida directamente en cada punto.

La curva (2) se obtiene restando en cada punto de la curva anterior la fricción de la imada en el punto correspondiente.

Y restando de la curva (2) la resistencia del agua, se obtiene la curva (3), que es la fuerza neta que anima al buque en cada punto de su recorrido, observándose que a partir del pun-

to *P* la fuerza neta cambia de signo, frenando al buque.

Desde el punto *Q* al *R* es desconocido el trazado real de la curva, por corresponder al período de giro, siendo el punto *R* cuando los santos de proa abandonan la imada.

Desde el punto *R* al *S* el buque se encuentra frenado solamente por la resistencia del agua, y a partir del punto *S* se suma a esta resistencia del agua la de la primera rastra de cadenas, entrando sucesivamente en acción las otras dos rastras, hasta el punto *T*, en que termina la botadura y el buque parado.

Por ser las velocidades inicial y final iguales a 0, las aéreas positiva y negativa de esta curva tendrán que ser iguales, como realmente son.

Integrando las aéreas comprendidas entre las diversas curvas de este diagrama, se ve que la energía total desprendida por el buque en el

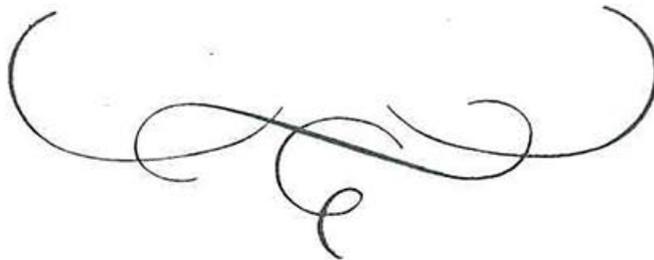
descenso es absorbida por las diferentes resistencias como sigue:

Fricción sobre imadas...	55	por	100	de	la	energía	total.
Resistencia del agua.....	40	—	—	—	—	—	—
Idem de las rastras.....	5	—	—	—	—	—	—

FLEXIONES.

En la figura 8 la curva de puntos representa las lecturas efectuadas a bordo durante la botadura por medio de un nivel situado en el lugar que en el dibujo se indica, y de dicha lectura se llega a la de trazo lleno, que representa las flexiones totales, multiplicando por la relación de la eslora total del buque a la base tomada elevado al cuadrado.

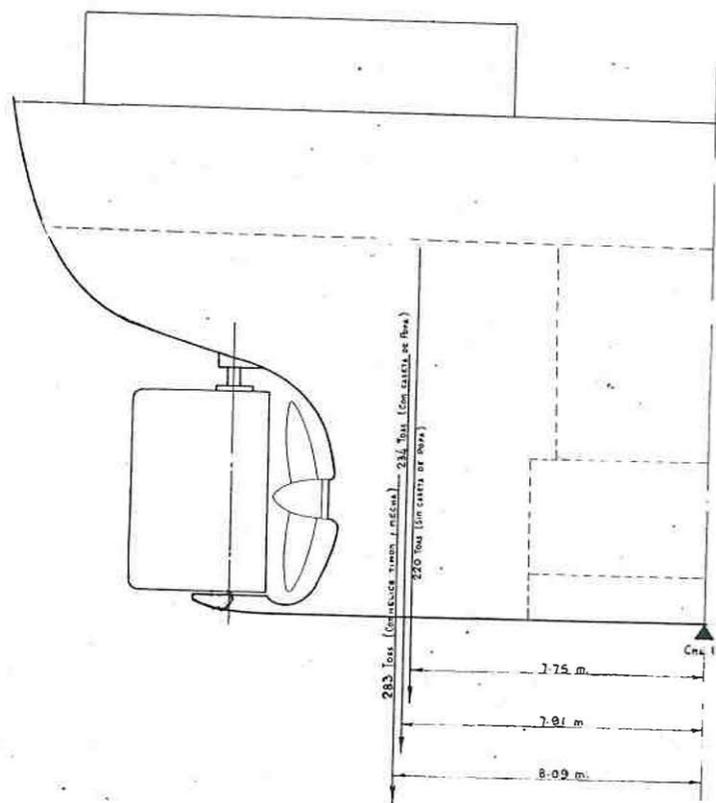
En estas curvas se observa un arrufo máximo alcanzado de 23 cm. y un quebranto de 13, quedando el buque con un quebranto permanente de 11 cm. aproximadamente.



# BUQUE Nº 55

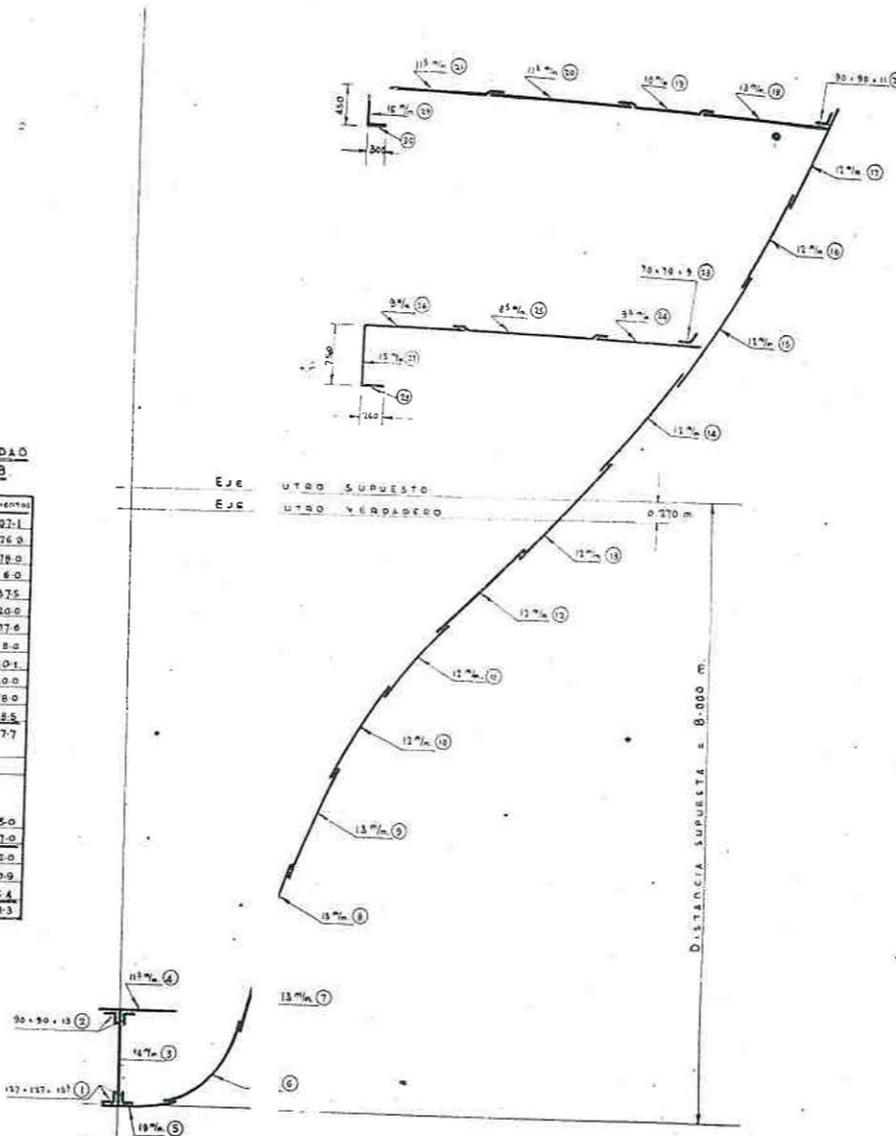
Cálculo de resistencia de la sección (cna. 18) que corresponde al extremo de los santos de popa en la posición de lanzamiento.

Fig. 2.



PESOS Y CENTROS DE GRAVEDAD A POPA DE LA CUADERNA Nº 18

	Tons	C. Gado	Momentos
FORRO EXTERIOR	51.8	2.86	147.1
CUADERNAS	32.0	2.99	226.0
VARANAS	12.0	6.50	78.0
DOBLE FONDO	1.0	6.00	6.0
CASILLAS	5.0	7.50	37.5
BARRAS	16.0	8.00	128.0
PLANCHAS DE CUBIERTA	34.7	8.00	277.6
PLANCHAS DE QUILLA	2.0	4.00	8.0
MAMPAROS ESTANCOS	6.5	7.70	50.1
ESTRUCTURA INTERIOR	20.0	7.00	140.0
COQUETE	18.5	10.16	188.0
VARIOS	5.0	7.75	38.8
3% MASAS LAMINACION	203.5	7.75	1577.7
3% MASAS CAJETAS DE SANTIAGO	6.1		
	215.7		
ADAPTAMOS	270.0	7.75	1705.0
CASITA DE POPA	14.0	10.50	147.0
	234.0	7.91	1852.0
HELICE	34.0	7.38	250.9
TIMON Y PUNTA	15.0	12.36	185.4
	283.0	8.09	2288.3



ELEMENTOS POR DEBAJO DEL EJE NEUTRO SUPUESTO.

Elemento	Dimensiones	Area, m <sup>2</sup>	Distancia al eje neutro (d)	Momentos (A * d)	Momentos de inercia (I <sub>x</sub> + I <sub>y</sub> )	Altura del elemento (h)	Inercia propia (I <sub>0</sub> )
1	127 x 127 x 13	3.220	8.00	25.760	206.080		
2	30 x 30 x 13	2.180	6.95	15.151	105.299		
3	70 x 140 x 14	10.360	7.46	77.296	576.554		
4	15 x 140 x 14	8.060	6.86	55.223	378.830		
5	15 x 1870 x 18	13.015	8.07	105.031	847.800		
6	1670 x 13	20.410	7.60	155.116	1178.882	1.10	24.696
7	1150 x 13	14.950	6.55	97.923	641.396	1.08	17.492
8	1300 x 13	16.900	5.50	92.950	511.226	1.20	24.336
9	1600 x 13	20.280	4.35	88.218	383.267	1.40	39.749
10	1500 x 12	18.000	3.10	55.800	171.980	1.20	25.920
11	1800 x 12	15.600	2.10	34.320	76.504	1.10	21.780
12	1500 x 12	18.000	1.30	23.400	30.420	1.00	15.600
13	1100 x 12	13.200	0.41	5.412	2.219	0.86	9.604
<b>Total</b>		<b>174.165</b>		<b>831.590</b>	<b>6.110.346</b>		<b>179.077</b>
					<b>Inercia propia = 1/12 * 179.077 * 14.923</b>		<b>5.125.269</b>

ELEMENTOS POR ENCIMA DEL EJE NEUTRO SUPUESTO.

Elemento	Dimensiones	Area, m <sup>2</sup>	Distancia al eje neutro (d)	Momentos (A * d)	Momentos de inercia (I <sub>x</sub> + I <sub>y</sub> )	Altura del elemento (h)	Inercia propia (I <sub>0</sub> )
14	350 x 12	4.200	0.25	1.050	413	0.40	10.56
15	1650 x 12	19.800	0.95	18.810	17.870	1.20	33.462
16	1750 x 12	21.000	2.18	45.780	89.800	1.55	50.400
17	1350 x 12	16.200	3.40	55.080	187.272	1.20	23.328
18	1450 x 12	17.400	4.48	77.962	349.225	1.30	29.406
19	1600 x 12	20.800	4.91	81.328	399.300		
20	1150 x 10	11.500	5.00	57.500	287.500		
21	1800 x 11	20.700	5.10	10.576	538.607		
22	1700 x 11	18.700	5.17	96.074	522.553		
23	80 x 90 x 11	1.870	4.89	9.144	44.714		
24	70 x 70 x 9	1.190	2.05	2.440	5.002		
25	1350 x 9	12.825	2.00	25.650	51.300		
26	1900 x 8	16.180	2.08	33.592	69.871		
27	1400 x 9	12.600	2.13	26.838	57.185		
28	750 x 15	11.250	1.76	19.800	34.944	0.75	6.300
29	260 x 15	3.900	1.38	5.382	7.427		
30	450 x 15	6.750	4.97	33.548	166.734	0.45	3.038
31	300 x 15	4.500	4.72	21.240	100.793		
<b>Total</b>		<b>224.585</b>		<b>724.378</b>	<b>2.939.674</b>		<b>147.490</b>
					<b>Inercia propia = 1/12 * 147.490 * 12.291</b>		<b>2.951.966</b>

## Resumen.

	Area, m <sup>2</sup>	Momentos (A * d)	Inercia (A * d <sup>2</sup> )
PORCION DEBAJO DEL EJE NEUTRO	174.165	831.590	5.125.269
PORCION ENCIMA DEL EJE NEUTRO	224.585	724.378	2.951.966
<b>Total</b>	<b>398.750</b>	<b>1.07.212</b>	<b>8.077.234</b>

Inercia respecto al eje neutro supuesto = 8.077.234 m<sup>4</sup> \* mts.

Verdadera posición del eje neutro =  $\frac{107.212}{398.750} = 0.27$  mts. (por debajo).

Corrección de inercia =  $A * h^2 = 398.750 * 0.27^2 = 29.069$  m<sup>4</sup> \* mts.<sup>2</sup>

I = Inercia total corregida = (8.077.234 - 29.069) = 16.096.330 m<sup>4</sup> \* mts.<sup>2</sup>

Modulo longitudinal =  $\frac{16.096.330}{7.800} = 2.063.632$  m<sup>3</sup> \* mts.

Momento flector = 283 \* 8.00 = 2.269,47 Tons. mts.

Carga unitaria =  $\frac{2.269.47}{2.063.632} = 0.00111$  Tons. m<sup>2</sup> = 4,11 Kes. m<sup>2</sup>