

**ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR
UNIVERSIDADE DA CORUÑA**



BUQUE ATUNERO 1200 TN

CUADERNO 9

FRANCOBORDO Y ARQUEO

ALUMNO: AITOR RAMIL VIZOSO

TUTOR: D. FERNANDO LAGO RODRIGUEZ



TRABAJO FIN DE MASTER CUADERNO 9

Alumno: Aitor Ramil Vizoso
Tutor: D. Fernando Lago Rodríguez



ÍNDICE

RPA	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CÁLCULO DE FRANCOBORDO	3
CONCEPTOS Y DATOS DE PARTIDA.....	4
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	5
Determinación del francobordo tabular.....	5
Correcciones al francobordo tabular	6
Francobordo de verano	9
ALTURA MÍNIMA EN PROA	10
CÁLCULO DE ARQUEO	11
ARQUEO BRUTO	11
ARQUEO NETO	12

RPA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.014-2015

PROYECTO NÚMERO: 13-P8

TIPO DE BUQUE: ATUNERO

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1200 Tn.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16,5 nudos al 85% MCR y 15% de Margen de Mar. Autonomía de 8500 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotilla en cubierta.

PROPULSIÓN: Una línea de ejes accionada por motor diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 26 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Hélice transversal en proa.

Ferrol, Enero de 2.016.

ALUMNO: Aitor Ramil Vizoso.

INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se estudiará el francobordo del buque de proyecto según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1996, modificado en su protocolo del 88. Además se obtendrá el calado de verano y de invierno según dicho convenio.

Por otra parte calculará el arqueo bruto y el arqueo neto siguiendo la Conferencia Internacional sobre Arqueo de buques de 1969.

Como base para la realización de este cuaderno, se emplearán las dimensiones principales obtenidas en el Cuaderno 1: *"Dimensionamiento preliminar y elección de la cifra de mérito"*. Estas dimensiones se recogen en la siguiente tabla:

L	Lpp	B	Dsup	Dprin	T
75,50	64,45	13,45	8,90	6,50	5,85

Tabla 1. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE.

Además de las características principales del buque, es importante a efectos de cálculo destacar que la cubierta no tiene ni brusca ni arrufo.

CÁLCULO DE FRANCOBORDO

El cálculo de francobordo tiene como objetivo garantizar la reserva de flotabilidad del buque.

En el Anexo I del Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966, modificado en su protocolo del 88, se describen una serie de reglas para la determinación de las líneas de carga del buque.

El proceso de cálculo consistirá en obtener un francobordo tabular para buques tipo "B" (buques de carga no líquida), y posteriormente corregir este dato tabular en función de las diferencias que existan entre el buque base y el buque real.

CONCEPTOS Y DATOS DE PARTIDA

En este apartado se definirán los conceptos necesarios para la realización de los cálculos empleando el citado convenio.

- Eslora (L): Se toma como eslora (L) la mayor de entre el 96 % de la eslora de flotación situada a una distancia igual al 85 % del puntal mínimo de trazado (L_1), o la distancia entre la cara de proa de la roda y el eje de la mecha del timón en esta flotación (L_2).

$$L_1=65,53 \text{ m}$$

$$L_2=64,88 \text{ m}$$

Por tanto

$$L=L_1=65,53 \text{ m}$$

- Manga (B): Se tomará la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo y hasta la línea de trazado de la cuaderna.
- Puntal de trazado (D_t): Distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.

$$B=13,45 \text{ m}$$

$$D_t=6,5 \text{ m}$$

- Puntal de francobordo (D): Será el puntal de trazado del buque más el espesor de la plancha de trancañil de la cubierta de francobordo. Se tomará este espesor como 9 mm.

$$D=6,509 \text{ m}$$

- Puntal de la cubierta resistente (D_R): Distancia vertical medida en el centro del buque, desde la parte superior de la quilla hasta la cara alta del bao de la cubierta en el costado.

$$D_R=8,9 \text{ m}$$

- Coeficiente de bloque (C_b): Coeficiente de bloque para un desplazamiento al 85% del puntal. Consultando las tablas hidrostáticas de buque, resulta:

$$C_b=0,52$$

- Cubierta de francobordo: Esta cubierta será la más alta expuesta a la intemperie, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas y bajo la cual todas las aperturas en los costados están dotadas de medios permanentes de cierre estancos. Acorde a esto, la cubierta de francobordo del buque de proyecto será la cubierta principal.
- Superestructura: Construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extiende de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga. Atiendo a esta definición, se considerará como superestructura los espacios sobre la cubierta de francobordo hasta la cubierta superior.
- Longitud de las superestructuras (S): Longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L).

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Tal y como se ha explicado anteriormente, se determinará en primer lugar un francobordo tabular, para posteriormente hacer las correcciones pertinentes para adecuar este dato al buque real.

Determinación del francobordo tabular

Según refleja el convenio en la Regla 27, el buque de proyecto será un buque del tipo B, por no transportar carga líquida.

Por consiguiente, el francobordo tabular se determinará empleando la tabla de francobordo para buques tipo B de la Regla 28:

Eslora del buque [m]	Francobordo [mm]
65	644
66	659

Tabla 2. FRANCOBORDOS TABULARES, OBTENIDOS DEL REGLAMENTO.

La eslora (L) es de 65,53 m, por lo que es necesario realizar una interpolación lineal para obtener el francobordo tabular correspondiente a dicha eslora, obteniendo 651,95 mm. A efectos de cálculos se empleará un francobordo tabular de 652 mm.

Correcciones al francobordo tabular

Basándose en las diferencias existentes entre las características del buque base y el buque real, es necesario realizar las siguientes correcciones incluidas en el convenio.

- Corrección por coeficiente de bloque (Regla 30): En este caso esta corrección no es de aplicación, ya que el coeficiente de bloque del buque real no excede de 0,68.
- Corrección por puntal (Regla 31): Si D excede de $L/15$ el francobordo deberá de aumentarse en $\left(D - \frac{L}{15}\right)R$, siendo $R = \frac{L}{0,48}$ para buques con L menor a 120 m.

$$D=6,509 \qquad \frac{L}{15} = \frac{65,53}{15} = 4,37$$

Se comprueba que esta corrección es aplicable, por lo que el francobordo tabular deberá incrementarse en:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right)R = \left(D - \frac{L}{15}\right)\frac{L}{0,48} = \left(6,509 - \frac{65,53}{15}\right)\frac{65,53}{0,48} = 292 \text{ mm}$$

- Corrección por superestructuras:
 - Altura normal de las superestructuras (Regla 33): La altura normal de una superestructura para la eslora (L) dada, es de 1,80 m.
 - Longitud de superestructuras (Regla 34): La longitud de una superestructura (S) es la longitud media de aquella parte de la superestructura que quede dentro de la eslora (L). En este caso esta longitud es igual a la eslora (L): 65,53 m.

- Longitud efectiva de superestructuras (Regla 35): La longitud efectiva de la superestructura es la longitud real, puesto que la altura de la misma sobrepasa el valor normal obtenido en la Regla 33.
- Reducción por superestructuras y troncos (Regla 37): Cuando la longitud efectiva de la superestructura sea igual a $1,0 \cdot L$, el convenio fija las siguientes reducciones:

Eslera del buque [m]	Reducción [mm]
24	350
75	860

Tabla 32. REDUCCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS.

Particularizando para el buque de proyecto se obtiene, mediante una interpolación lineal, una reducción de 765 mm.

- Corrección por arrufo (Regla 38):

El arrufo se medirá sobre la cubierta de la superestructura, por extenderse ésta a lo largo de toda la cubierta de francobordo. Al superar la altura normal, la diferencia "Z" entre la altura real de superestructura (2400 mm) y la normal (1800 mm) es de 600 mm. Esta diferencia se añade a las ordenadas de los extremos y debe añadirse también $0,444 \cdot Z$ y $0,111 \cdot Z$ en las ordenadas $1/6L$ y $1/3L$ de cada una de las perpendiculares respectivamente.

Al haber castillo cerrado por encima de la superestructura, se permite un exceso de arrufo con respecto al castillo:

$$S = \frac{y \cdot L'}{3 \cdot L} = \frac{600 \cdot 0,5 \cdot 65,53}{3 \cdot 65,53} = 100 \text{ mm}$$

Siendo:

- y: Diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en la perpendicular de popa y proa.

- L': Longitud media de la parte cerrada del castillo, hasta un máximo de $0,5 \cdot L$.
- L: Eslora L del buque, definida en el convenio.
- S: Suplemento de arrufo, a deducir del defecto, o añadir al exceso de arrufo.

Curva de arrufo normal

	Situación	Ordenada [mm]	Factor	Suma
Mitad de popa	Perpendicular de popa	796,08	1	2123,94
	1/6·L desde Ppp	353,46	3	
	1/3·L desde Ppp	89,16	3	
Centro	Centro del buque	0	1	0
Mitad de proa	1/3·L desde Ppp	178,32	3	4247,88
	1/6·L desde Ppp	706,92	3	
	Perpendicular de proa	1592,16	1	

Tabla 43. CURVA DE ARRUFOS NORMAL.

Curva de arrufo real

Situación	Arrufo buque	Adición por superestructura	Adición por castillo	Total ordenada	Factor	Suma
Perpendicular de popa	0	600		600	1	1599
1/6·L desde Ppp	0	266,4		266,4	3	
1/3·L desde Ppp	0	66,6		66,6	3	
Centro del buque	0	0	100	100	1	2399,3
1/3·L desde Ppp	0	66,66	100	166,66	3	
1/6·L desde Ppp	0	266,44	100	366,44	3	
Perpendicular de proa	0	600	100	700	1	

Tabla 5. CURVA ARRUFOS REAL.

Una vez obtenidos los valores anteriores, se procede a calcular la diferencia entre el arrufo real y el normal, para conocer si hay exceso o defecto. Esta diferencia se calculará tanto para popa como para proa:

Por popa:

$$\text{Arrufo real} - \text{Arrufo normal} = 1599 - 2123,94 = -524,94 \text{ mm}$$

Por proa:

$$\text{Arrufo real} - \text{Arrufo normal} = 2399,3 - 4247,88 = -1848,58 \text{ mm}$$

Se observa que en ambos casos es negativo, por lo que habrá un exceso de arrufo en popa y en proa. Según el convenio, dividiendo por 8 se obtendrá la deficiencia o exceso de arrufo en las mitades de proa o de popa:

$$\text{Defecto popa:} \quad -524,94/8 = -65,62 \text{ mm}$$

$$\text{Defecto proa:} \quad -1848,58/8 = -231,07 \text{ mm}$$

$$\text{Defecto de arrufo total:} \quad (-65,62 - 231,07)/2 = -148,34 \text{ mm}$$

La corrección por arrufo que se deberá aplicar será el defecto o exceso de arrufo multiplicado por $0,75 - S/2L$, siendo S la longitud de superestructuras cerradas.

$$\text{Corrección} = -148,34 \cdot \left(0,75 - \frac{65,53}{2 \cdot 65,53} \right) = -37,08 \text{ mm}$$

El arrufo real es menor al normal, por lo que el defecto obtenido se añadirá al francobordo.

Francobordo de verano

Reflejando sobre el francobordo tabular todas las correcciones, se obtiene lo siguiente:

Concepto	Valor
<i>Francobordo tabular</i>	652 mm
<i>Corrección por puntal</i>	+ 292 mm
<i>Corrección por superestructuras</i>	- 765 mm
<i>Corrección por arrufo</i>	+ 37,08 mm
<i>Francobordo de verano mínimo</i>	216,08 mm

Tabla 4. FRANCOBORDO DE VERANO PRELIMINAR.

ALTURA MÍNIMA EN PROA

Según la Regla 39 del convenio, la altura en proa (distancia vertical, medida en la perpendicular de proa, entre la flotación correspondiente al francobordo de verano y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado) no será inferior a la siguiente expresión:

$$F_b = \left(6075 \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot C_b - 1,603 \cdot C_{wf} - 0,0129 \left(\frac{L}{d_1} \right) \right)$$

Dónde:

- F_b es la altura mínima en proa, en mm.
- L es la eslora definida en la Regla 3 del convenio ($L=65,53$ m).
- B es la manga de trazado ($B=13,45$ m).
- d_1 es el calado en el 85% del puntal D , en metros ($d_1=5,53$ m).
- C_b es el coeficiente de bloque definido en la Regla 3 ($C_b=0,52$).
- C_{wf} es el coeficiente del área de la flotación a proa de $L/2$.

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{\frac{L}{2} \cdot B} = \frac{362,5}{\frac{65,53}{2} \cdot 13,45} = 0,82$$

Sustituyendo por los datos especificados resulta:

$$F_b = \left(6075 \left(\frac{65,53}{100} \right) - 1875 \left(\frac{65,53}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{65,53}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,52 - 1,603 \cdot 0,82 - 0,0129 \left(\frac{65,53}{5,53} \right) \right) \\ = 3003,74 \text{ mm}$$

Se comprueba en el plano de disposición general que la altura real es mayor a la requerida, obteniendo un resultado satisfactorio.

CÁLCULO DE ARQUEO

ARQUEO BRUTO

El arqueo bruto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$GT=(0,2+0,02 \times \log V) \times V$$

dónde:

- V: Volumen de todos los espacios de carga.

Los espacios de carga a considerar son los siguientes:

Espacio	Volumen [m3]
Carena	5587,2
Puente	215
Castillo	380,4
Guardacalor	102,12
Cubierta Superior	1029,6
Palo	247,38
Total	7561,7

Tabla 5. VOLUMENES DE LOS ESPACIOS A CONSIDERAR.

La carena se ha calculado mediante el programa Maxsurf, considerando un calado igual al puntal a la cubierta de arqueo (cubierta superior), por lo que de esta manera se puede conocer el volumen total del casco.

El volumen obtenido para el puente se ha obtenido calculando el área de cubierta, encerrada por éste espacio mediante plano de disposición general, y multiplicando dicho valor por la altura.

De la habilitación se han considerado tan sólo los espacios cerrados (espacios exteriores no se han considerado), y se ha obtenido el volumen multiplicando las dimensiones de eslora, manga y puntal que se obtuvieron en el Cuaderno 7:

“Disposición general”. De igual forma se ha procedido para el cálculo de volumen del guardacalor.

Acorde a lo anterior se obtiene:

$$GT=(0,2+0,02 \cdot \log V) \cdot V=(0,2+0,02 \cdot \log(7561,7)) \cdot 7561,7=2098,91 \text{ GT}$$

ARQUEO NETO

El arqueo neto hace referencia a todos aquellos espacios cerrados destinados al transporte de carga.

El arqueo neto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NT = K_2 \times V_c \times \left[\frac{4 \times d}{3 \times D} \right]^2 + K_3 \times \left[N_1 + \frac{N_2}{10} \right]$$

dónde:

- $K_2=0,2+0,02 \cdot \log V_c = 0,2+0,02 \cdot \log (1818,28) = 0,26$.
- V_c : Volumen de los espacios de carga. $V_c= 1818,28 \text{ m}^3$
- d : calado de trazado en el centro del buque expresado en metros. $d=5,85 \text{ m}$.
- D : puntal de trazado en el centro del buque en metros. $D=8,9 \text{ m}$.
- El segundo término que se puede ver en el sumando es 0, debido a que no es un buque de pasaje.

Es necesario realizar las siguientes comprobaciones para el arqueo neto:

- El factor $\left[\frac{4 \times d}{3 \times D} \right]^2$ no se tomará superior a 1:

$$\text{Valor máximo}=1$$

$$\text{Valor calculado}=\left[\frac{4 \times 5,85}{3 \times 8,9} \right]^2 = 0,77$$

Al no cumplir este requisito, se tomará el valor de la unidad para este factor.

- El término $K_2 \times V_c \times \left[\frac{4 \times d}{3 \times D}\right]^2$ no se tomará inferior a 0,25 GT.

$$\text{Valor mínimo} = 0,25 \cdot 2098,91 = 524,73$$

$$\text{Valor calculado} = 363,11.$$

Se tomará el valor de 0,25 GT al ser el valor calculado menor al valor mínimo.

- NT no se tomará inferior a 0,30 GT.

$$\text{Valor mínimo} = 0,30 \cdot 2098,91 = 629,63$$

$$\text{Valor calculado} = 524,73$$

Finalmente, teniendo en cuenta las comprobaciones anteriores, se obtiene un arqueo neto igual a 629,63 NT.