



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2019/20**

---

*MEGAYATE DE LUJO*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno 9  
FRANCOBORDO Y ARQUEO**

ALUMNA: ROSA PÉREZ RAMÓN

TUTOR: RAÚL VILLA CARO

# ÍNDICE

## CUADERNO 9

1 INTRODUCCIÓN	4
2 CÁLCULOS DE FRANCOBORDO	5
2.1 DEFINICIÓN TÉRMINOS USADOS EN LOS ANEXOS	5
2.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	6
2.2.1 CORRECCIONES FRANCOBORDO TABULAR	6
2.2.2 ALTURA MÍNIMA EN PROA	8
2.2.3 FRANCOBORDO MÍNIMO	9
2.2.4 REDUCCIÓN E INCREMENTOS DE FRANCOBORDO	10
3 CÁLCULO DE ARQUEO	11
3.1 ARQUEO BRUTO	11
3.2 ARQUEO NETO	12

Escola Politécnica Superior



**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

*CURSO 2018-2019*

**PROYECTO NÚMERO 19-19**

**TIPO DE BUQUE:** MEGAYATE DE LUJO DE DESPLAZAMIENTO, DE 114 M DE ESLORA. TIPO WORLD GRAND EXPLORER

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** BUQUE DE PASAJE, OCEÁNICO, SOLAS MARPOL MCA, ZONA ECA POLAR CODE B ICE. RUTAS DE LA ANTÁRTIDA PERIODOS RESTRINGIDOS Y ÁRTICO (VERANO). PANAMÁ.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** PERSONAS EN CRUCEROS TURÍSTICOS DE GRAN LUJO

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 17 KNOTS AL 90% MCR Y 10% MM. AUTONOMÍA A 3500 MILLAS.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** GRÚA A BORDO, JACUZZI, GARAJE PARA MOTOS DE AGUA, PISCINA

**PROPULSIÓN:** UNO O DOS MOTORES DIESEL

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 50 PASAJEROS Y 42 TRIPULANTES.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** GARAJE, WATERMAKER x 2, STABILIZER TRAC, AIR CONDITIONING CRUISAIR, HELIPUERTO (NO CERTIFICADO). MARINA EN POPA Y LATERALES, BOTES TENDER.

Ferrol, diciembre 2019

ALUMNO/A: **Rosa Pérez Ramón**

TUTOR: **Raúl Villa Caro**

## 1 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se llevará a cabo el cálculo del Francobordo siguiendo el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1996, modificado en su protocolo del 88. Además de calcularse el calado de verano e invierno.

Otro de los cálculos que se realizarán en este cuaderno, es el del arqueo. Para ello se utilizará la Conferencia Internacional sobre Arqueo de buques de 1969.

Como base para comenzar los cálculos, se utilizarán las dimensiones principales obtenidas en el Cuaderno 1: "Dimensionamiento Preliminar y Elección de la Cifra de Mérito":

<b>L (M)</b>	<b>B (M)</b>	<b>D (M)</b>	<b>T (M)</b>
111,15	21,63	8,77	5,17

## 2 CÁLCULOS DE FRANCOBORDO

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

Para ello, se emplea el “Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988”. En el Anexo 1 “Reglas para la determinar las líneas de carga” se definen las reglas para determinar las líneas de carga del buque.

El proceso de cálculo se realizará para obtener un francobordo tabular para buques de tipo B “carga no líquida”. Posteriormente, se corregirá el dato tabular en función de la diferencia que exista entre el buque base y el buque real.

### 2.1 DEFINICIÓN TÉRMINOS USADOS EN LOS ANEXOS

Se este apartado se los conceptos necesarios para la realización de los cálculos que cita el convenio.

- Eslora (L): se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia al canto alto de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado (L1), o la eslora medida en esa flotación desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón (L2), Si esta segunda magnitud es menor.

$$L1 = 111,20 \text{ m}$$

$$L2 = 110,00 \text{ m}$$

- Manga (B): será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna. Por lo que:

$$B = 21,63 \text{ m}$$

- Puntal de Trazado (Dt) será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de cubierta de francobordo en el costado. Por tanto:

$$Dt = 8,77 \text{ m}$$

- Puntal de Francobordo (Dfb) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado (10 mm). Por lo que:

$$\underline{Dfb = 8,78 \text{ m}}$$

- Coeficiente de Bloque (Cb) vendrá dado por la fórmula:

$$Cb = \frac{\text{Volumen de desplazamiento Trazado buque}}{L \cdot B \cdot 0.85Dt}$$

$$Cb = 0,50$$

- Superestructura: construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extiende de banda a banda del buque o cuto forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga. Se considerará como superestructura los espacios sobre la cubierta de francobordo hasta la cubierta superior.
- 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 aberturas 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.

- Longitud de las superestructuras (S): Longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L).

## 2.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

De este apartado, sacamos la conclusión, de que el buque a realizar es de tipo B (Regla 27). Por lo que la tabla que utilizaremos, para sacar el valor del francobordo tabular, es la 28.2, que se encuentra en la Regla 28.

Table	
L	Francobordo
109	1459
110	1479
111	1500

Tabla 12. Francobordo Tabular

Obteniendo que el francobordo tabular para la eslora es de 1480 mm.

### 2.2.1 CORRECCIONES FRANCOBORDO TABULAR

Se aplicarán las siguientes correcciones al francobordo:

- **Corrección por coeficiente de Bloque (Regla 30):** Como el coeficiente de bloque no es superior a 0,68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, no será modificado por coeficiente de bloque.
- **Corrección por puntal (Regla 31):** Como D excede de  $L/15$ , el francobordo se aumentará en  $\left(D - \frac{L}{15}\right) R$  mm, siendo  $R = \frac{L}{0,48}$  para esloras inferiores a 120 m.

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot R = 332 \text{ mm}$$

$$R = 229,1667$$

- Correcciones por superestructura:
  - **Altura Normal de la Superestructura (Regla 33):** La altura normal de una superestructura para la eslora (L) dada, es de 2,15 m.
  - **Longitud de la Superestructura (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, (S) = 100 m.
  - **Longitud efectiva de la Superestructura (Regla 35):** la longitud efectiva de la superestructura cerrada de altura normal será su longitud real.

**Reducción por Superestructura (Regla 37):** Cuando la longitud efectiva de la superestructura es inferior a L, el convenio fija un porcentaje de reducción:

LONGITUD EFECTIVA SUPERESTRUCTURA	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN
0,9L	87,8
0,9091L	88,90
L	100

Tabla 13. Porcentaje Reducción Superestructura

**Corrección por Arrufo (Regla 38):** En buques con una superestructura de altura normal que se extienda sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo, el arrufo se medirá en la cubierta de la superestructura.

Curva Arrufo Normal:

	Situación	Ordenada (mm)	Factor	Suma
Mitad Popa	Perpendicular Popa	1167	1	3114
	1/6L desde Ppp	518	3	
	1/3 desde Ppp	131	3	
Centro	Centro Buque	0	1	6224
	1/3 desde Ppr	0	3	
Mitad Proa	1/6 desde Ppr	261	3	
	Perpendicular Proa	1036	1	

Tabla 14. Arrufo Normal

Curva Arrufo Real:

	Situación	Ordenada (mm)	Factor	Suma
Mitad Popa	Perpendicular Popa	0	1	0
	1/6L desde Ppp	0	3	
	1/3 desde Ppp	0	3	
Centro	Centro Buque	0	1	0
Mitad Proa	1/3 desde Ppr	0	3	0
	1/6 desde Ppr	0	3	
	Perpendicular Proa	0	1	

Tabla 15. Arrufo Real

Haciendo la diferencia de Arrufo Real – Arrufo normal, tanto en popa como en proa, se observa que en ambos casos es negativo. Por lo que habrá un exceso de arrufo en proa y en popa.

Defecto Arrufo Total: -529 mm.

La corrección por arrufo que se deberá aplicar será el defecto o exceso de arrufo multiplicado por:

$$0,75 - \frac{L'}{2L} = 0,2955$$

Corrección por arrufo 157 mm.

## 2.2.2 ALTURA MÍNIMA EN PROA

Según la Regla 39 del convenio, la altura de 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:

$$Fb = \left( 6075 \mp \left( \frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left( \frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left( \frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left( 2,08 + 0,609 \cdot Cb - 1,603 \cdot Cwf - 0,0129 \cdot \left( \frac{L}{d1} \right) \right)$$

Siendo:

Fb es la altura mínima en proa, en mm.

L es la eslora definida en la Regla 3 del convenio (L=110 m).

B es la manga de trazado (B=21,63 m).

d1 es el calado en el 85% del puntal D, en metros (d1=7,455 m).

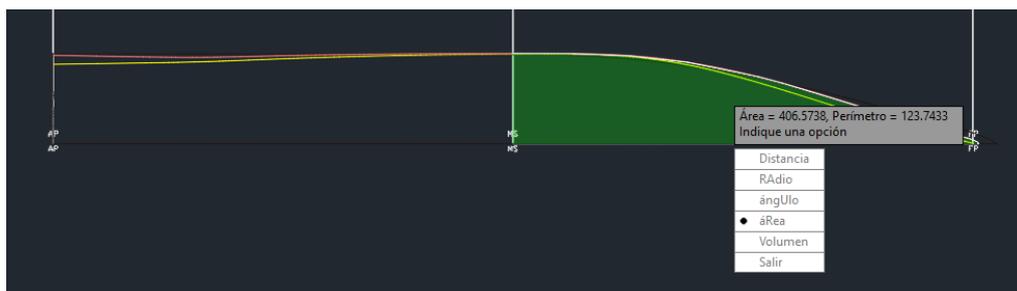
Cb es el coeficiente de bloque definido en la Regla 3 (Cb=0,5).

Cwf es el coeficiente del área de la flotación a proa de L/2

$$Cwf = \frac{Awf}{\frac{L}{2} \cdot B} = 0,83$$

Sustituyendo los datos, se obtiene que Fb=4056 mm.

A continuación, se muestra el área de flotación a proa de L/2 de la mitad de la manga del buque:



### 2.2.3 FRANCOBORDO MÍNIMO

En resumen, aplicando las correcciones de todas las reglas descritas, tenemos:

<i>R-28</i>	1479	mm
<i>R-29</i>		mm
<i>R-30</i>		mm
<i>R-31</i>	332	mm
<i>R-32.1</i>		mm
<i>R-37</i>	-890	mm
<i>R-38</i>	157	mm
<b>Suma</b>	<b>1078</b>	<b>mm</b>

Tabla 16. Resumen Reglas Aplicadas Francobordo

El calado de trazado del buque será:

$$T \text{ trazado} = \text{Puntal Cubierta FB} - \text{FB Verano}$$

$$T \text{ trazado} = 8.770 - 1.078 = 7.078 \text{ mm}$$

Se comprueba el calado de trazado con el calado de estabilidad (5,17 m).

$$7,078 \text{ m} > 5,170 \text{ m}$$

Se limita al calado de estabilidad. El calado definitivo es de 5,17 m.

Diferencia de calados:

$$7,078 - 5,170 = 1,908 \text{ m}$$

Nuevo francobordo:

$$1098 + 1078 = 2986 \text{ mm} \approx 3000 \text{ mm}$$

## 2.2.4 REDUCCIÓN E INCREMENTOS DE FRANCOBORDO

*Reducción para francobordo tropical e incrementos para francobordo de invierno y de Atlántico Norte.*

<i>Puntal Cubierta Francobordo</i>	8770 mm
<i>Calado de Trazado</i>	5170 mm
<i>Francobordo de Verano</i>	3000 mm
<i>Reducción Francobordo Tropical</i>	62,5 mm
<i>Incremento Francobordo Invierno</i>	62,5 mm
<i>Incremento Francobordo Atlántico Norte</i>	112,5 mm
<i>Reducción para agua dulce</i>	
<i>Reducción Agua Dulce</i>	81,35 mm
<i>Desplazamiento Agua salada con la flotación en carga de verano a máxima carga (Cuaderno 2)</i>	6288 t
<i>Toneladas por centímetro de inmersión TCP en flotación en carga de verano (Cuaderno 5 Hidrostáticas)</i>	19,323 t/cm



### 3 CÁLCULO DE ARQUEO

Para este cálculo se utilizará la Conferencia Internacional sobre Arqueo de buques de 1969.

#### 3.1 ARQUEO BRUTO

El arqueo bruto de un buque (GT) se utiliza aplicando la siguiente fórmula:

$$GT = K1 \cdot V$$

Siendo:

$$K1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(V)$$

V el volumen de todos los espacios cerrados del buque, en m<sup>3</sup>. Se considera V la suma de volumen hasta la cubierta principal más el volumen de los espacios cerrados del buque:

Volumen hasta la cubierta principal: se tomará igual al valor sumergido hasta un calado igual a la cubierta principal.

Volumen de espacios cerrados: se tomará de la disposición general, en el que se medirán las áreas de espacios cerrados de cada cubierta y se multiplicarán por las alturas correspondientes (Según la disposición general del Cuaderno 7).

Volumen hasta cubierta principal			13600
Volumen espacios			
	área (m2)	Altura (m)	Volumen (m3)
Main Deck	2240,80	3	6722,39
Swimming Deck	1149,76	3	3449,28
Bridge Deck	737,07	3	2211,22
Sun Deck	414,98	3,7	1535,43
Volumen Total (m3)			25978,77

Realizando los cálculos se obtiene que:

$$GT = 7947$$

$$V = 27518 \text{ m}^3$$

$$K1 = 0,29$$

Los datos de área de las cubiertas anteriores se han obtenido midiendo las áreas sobre el plano con el programa AutoCAD. El volumen hasta la cubierta principal se ha conseguido mediante el software MaxSurf:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	13600	t
2	Volume (displaced)	13268,739	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	8,770	m
4	Immersed depth	8,770	m

### 3.2 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:

$$NT = K2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K1 \cdot \left(N1 + \frac{N2}{10}\right)$$

$$K2 = 0,2 + 0,02 \cdot \text{Log}_{10}(Vc)$$

$$K1 = 1,25 \cdot (GT + 10000) / 10000$$

Vc volumen total de los espacios de carga en m<sup>3</sup>, se tomará 0, pues el buque no está destinado a transporte de carga.

D puntal de trazado en el centro del buque expresado en m.

d calado de trazado en el centro del buque expresado en m.

N1 número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas.

N2 Número de los demás pasajeros.

GT arqueo bruto del buque.

Consideraciones a tener en cuenta:

El factor  $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  no se tomará superior a 1.

El término  $K2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  no se tomará inferior a 0,25GT.

N1+N2 es el número total de pasajeros que el buque está autorizado a llevar según el certificado de pasajeros del buque, cuando sea inferior a 13, las magnitudes N1 y N2 se consideran 0.

Como Vc = 0, el primer término es cero, por ello:

$$NT = K1 \cdot \left(N1 + \frac{N2}{10}\right)$$

$$NT = 2,18 \cdot \left(50 + \frac{0}{10}\right) = 112$$

NT no se tomará menor a 0,30GT

$$0,30 \cdot GT = 2384$$

Por tanto, NT tomará el valor de 2384.