



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2.017/18**

---

*BUQUE ATUNERO CONGELADOR DE 3.700 m<sup>3</sup>*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA:**

Eva Luz Villar Chouciño

**TUTOR:**

Marcos Míguez González

**FECHA:**

JUNIO 2.018

# 1. RPA

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

**PROYECTO NÚMERO: 18-05**

**TIPO DE BUQUE:** Buque atunero congelador de 3.700 m<sup>3</sup> con bandera española destinado a la pesca de cerco en el Océano Pacífico Oriental.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** El buque ha de cumplir las reglas establecidas por la Sociedad de Clasificación BUREAU VERITAS para alcanzar la cota:

***I ✘ HULL ✘ MACH, Fishing vessel, Unrestricted navigation,  
REF-CARGO-QUICKFREEZE, INWATERSURVEY***

Además, el buque deberá ajustarse a los siguientes reglamentos:

Protocolo de Torremolinos 1.993 con sus enmiendas en vigor.

Reglamentos de los Canales de Suez y Panamá.

Reglamento MARPOL 73/78.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** Atún que se distribuirá y congelará en cubas por el sistema de inmersión en salmuera.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** El buque alcanzará una velocidad en pruebas de 19 nudos con el motor desarrollando su potencia máxima continua (100% MCR) y cuya autonomía será de 60-70 días operacionales.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Los equipos de carga y descarga serán la pluma de panga y plumas auxiliares (Br y Er) para carga y descarga de la pesca y en general los habituales para este tipo de buque.

**PROPULSIÓN:** Motor propulsor diésel 4 tiempos no reversible.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** El buque estará operado por 30 tripulantes con camarotes y aseos individuales.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Los habituales en este tipo de barcos.

Ferrol, 18 Septiembre 2.017

ALUMNO/A: **D<sup>a</sup> EVA LUZ VILLAR CHOUCIÑO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2.017/18**

---

*BUQUE ATUNERO CONGELADOR DE 3.700 m<sup>3</sup>*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 9**

**“FRANCOBORDO Y ARQUEO”**

## ÍNDICE

<b>1. RPA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3. CÁLCULO DE FRANCOBORDO .....</b>	<b>8</b>
3.1. DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA DE FRANCOBORDO .....	9
3.2. DEFINICIONES Y DIMENSIONES PRINCIPALES .....	9
3.3. CÁLCULO DE FRANCOBORDO .....	11
3.3.1. <i>Francobordo Tabular.....</i>	<i>11</i>
3.3.2. <i>Aplicación de Correcciones.....</i>	<i>12</i>
3.3.3. <i>Determinación del Arrufo Real y Normal .....</i>	<i>13</i>
3.3.4. <i>Aplicabilidad de todas las Reglas.....</i>	<i>16</i>
3.4. DETERMINACIÓN DE TODAS LAS LÍNEAS DE CARGA.....	19
<b>4. CÁLCULO DE ARQUEO .....</b>	<b>22</b>
4.1. DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA DE ARQUEO .....	22
4.2. CÁLCULO DEL ARQUEO BRUTO.....	22
4.3. CÁLCULO DEL ARQUEO NETO .....	24
<b>5. RESUMEN DE RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>

## 2. INTRODUCCIÓN

El Buque correspondiente al proyecto número 18-05 es un pesquero Purse Seiner con capacidad de cubas de 3.700 m<sup>3</sup>, a motor, con casco de acero, proyectado para la pesca del atún con arte de cerco en el Océano Pacífico Oriental.

El buque con todo su equipo y maquinaria, se construirá de acuerdo con las reglas, y bajo la inspección de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, para alcanzar la cota:

***I ✘ HULL ✘ MACH, Fishing vessel, Unrestricted navigation,  
REF-CARGO-QUICKFREEZE, INWATERSURVEY***

Donde:

- REF-CARGO-QUICKFREEZE: notación de clase adicional asignada a buques diseñados con plantas de congelación, con la condición de que el número y la energía de las unidades de refrigeración son tales que la temperatura específica puede ser mantenida con una unidad en standby.
- INWATERSURVEY: notación de clase adicional asignada a buques con los arreglos necesarios para facilitar la inspección bajo agua.

Las dimensiones principales de dicho Buque Proyecto calculadas en el Cuaderno 1, “*Dimensionamiento Preliminar y Elección de la Cifra de Mérito*” y los coeficientes ajustados en el Cuaderno 3 “*Coeficientes y Plano de Formas*”, son los que se muestran a continuación:

ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.....	96,70 m
ESLORA TOTAL.....	112,40 m
MANGA.....	18,00 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL.....	8,20 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SUPERIOR.....	11,00 m
CALADO.....	7,50 m
Velocidad (100% MCR).....	19 nudos
Número de Froude.....	0,318
COEFICIENTE DE BLOQUE.....	0,592
COEFICIENTE DE LA MAESTRA.....	0,937
COEFICIENTE PRISMÁTICO.....	0,631
COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN.....	0,841
DESPLAZAMIENTO.....	7.917 Tn
VOLUMEN DE CUBAS.....	3.700 m <sup>3</sup>
TRIPULACIÓN.....	30
POTENCIA .....	7.200 kW

En el presente Cuaderno 9 “*Francobordo y Arqueo*” se procederá al cálculo y desarrollo de los siguientes puntos:

- Francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1.966, modificado en su protocolo del 88.
- Calado de verano y de invierno según dicho Convenio.
- Arqueo Bruto y Neto siguiendo la Conferencia Internacional sobre Arqueo de buques de 1.969.

El Francobordo es la distancia vertical, medida en la sección media del buque, desde el borde superior de la cubierta de francobordo en el costado hasta la flotación que indica la máxima carga por peso que el buque podrá embarcar, de tal manera que se asegure una estabilidad suficiente del mismo y se eviten esfuerzos estructurales excesivos.

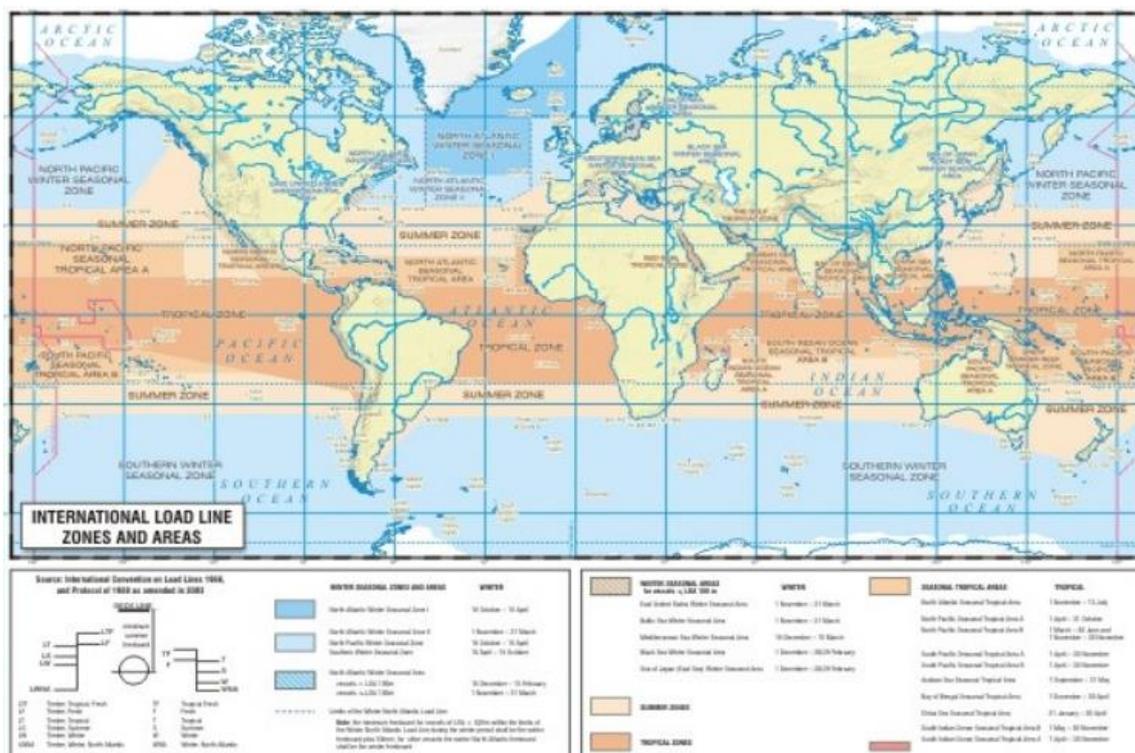


Imagen 1. Zonas de francobordo

Se define la cubierta de francobordo como la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco.

De este modo, el francobordo va a condicionar dos características del buque:

- La reserva de flotabilidad o volumen de carena suplementario que el buque puede utilizar en caso de pérdida de carena por inundación.
- La altura de la cubierta como plataforma de trabajo de la tripulación respecto a la superficie del mar, que condiciona la seguridad de la misma en condiciones de mala mar.

Estas características dan lugar a la fijación de un valor de francobordo mínimo, lo que supone para el buque la limitación del calado máximo de navegación.

El francobordo contribuye en medida importante a acrecentar la seguridad tanto de los buques y de los bienes en el mar como la vida de las personas a bordo de los buques.

En el Cuaderno 1 se ha realizado un cálculo preliminar del francobordo para el Buque Proyecto. En el presente Cuaderno, se realiza el mismo procedimiento, pero con las dimensiones y datos exactos del Buque Proyecto, por lo que el francobordo mínimo será el definitivo.

### 3. CÁLCULO DE FRANCOBORDO

El francobordo es un elemento decisivo del proyecto del buque; es el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1.966 y Protocolo de 1988 quien fija las directrices a seguir para señalar a cada buque concreto el francobordo mínimo que le corresponde en función de las características del propio buque, de las rutas que vaya a seguir y de la época del año en que navegue.

Dicho francobordo mínimo asignado queda fijado de dos maneras:

- Por la existencia de un Certificado de Francobordo emitido por la autoridad del país de abanderamiento en el que figura el valor del francobordo mínimo asignado.
- Por las marcas que se disponen en la sección media y a ambos costados del buque, y que indican los calados máximos con los que puede navegar el buque en función de las zonas marítimas y épocas del año. Estas marcas se refieren a la línea de cubierta que también debe estar indicada en el costado, de tal forma que la distancia entre esta línea y las marcas de máximo calado o máxima carga sea precisamente el francobordo mínimo correspondiente. Dichas marcas permiten comprobar que el barco no sumerge la línea de carga correspondiente.

La forma de dichas marcas, se muestran en las siguientes imágenes:

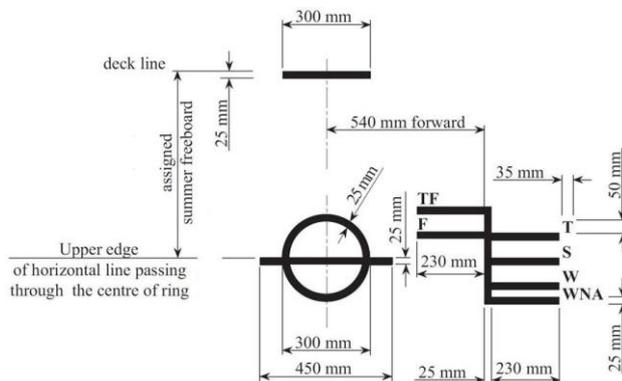


Imagen 2. Disco Plimsoll

### 3.1. DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA DE FRANCOBORDO

Se define la cubierta de francobordo como la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco.

En el caso del Buque Proyecto, se toma como cubierta de francobordo la cubierta principal, situada a 8,20 m de la línea base.

### 3.2. DEFINICIONES Y DIMENSIONES PRINCIPALES

Antes de aplicar dicho Convenio se procede a definir las diferentes características reglamentarias que se van a utilizar en el procedimiento:

- **Eslora L:** el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia a la cara superior de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado, o la eslora medida en esa flotación desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón, si esta segunda magnitud es mayor.

$$L_{flt} = 103,818 \text{ m}$$

$$L_{ppflt} = 96,70 \text{ m}$$

Comparando:

$$0,96 \cdot L_{flt} = 99,665 \text{ m} > L_{ppflt}$$

Por lo que la Eslora L será:

$$\text{Eslora } L = 0,96 \cdot L_{flt} = \mathbf{99,665 \text{ m}}$$

- **Manga de trazado (B):** se toma la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo y hasta la línea de trazado de la cuaderna, en los buques de forro metálico, o hasta la superficie exterior del casco, en los buques con forro de otros materiales.

$$B = \mathbf{18,00 \text{ m}}$$

- **Eslora Total:** se toma la eslora total del Buque Proyecto.

$$L_T = \mathbf{112,40 \text{ m}}$$

- **Puntal de trazado ( $D_{trazado}$ ):** distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.

$$D_{trazado} = D_{ppal} = 8,20 \text{ m}$$

- **Puntal de Francobordo:** es el puntal de trazado del buque más el espesor de la plancha de trancañil de la cubierta de francobordo. Se toman 7 mm obtenidos en el Cuaderno 8 “*Cuaderna Maestra*”, por lo que:

$$D_{fb} = 8,207 \text{ m}$$

- **Puntal de la Cubierta Resistente:** 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.

$$D_{sup} = 8,20 + 2,80 = 11,00 \text{ m}$$

- **Coefficiente de Bloque (CB):** para un desplazamiento al 85% del puntal, obtenido con las hidrostáticas y correspondiente a un calado de 6,97 m.

$$CB = 0,575$$

- **Cubierta Francobordo:** cubierta 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. En este caso ésta cubierta será la *Cubierta Principal*, situada a un puntal de 8,20 m.

- **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. Se considera por tanto que los espacios sobre la cubierta de francobordo hasta la cubierta superior cumplen con los requerimientos de superestructura por lo que se considerará que existe una superestructura de 2,80 m de altura y que abarca toda la eslora.

- **Longitud de superestructura (S):** longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L). En este caso esa longitud es igual a la eslora L del buque.

$$S = 99,665 \text{ m}$$

Se muestra a continuación un resumen de las principales dimensiones del Buque Proyecto para el procedimiento de cálculo de francobordo:

DIMENSIÓN	VALOR	Ud
Eslora (L)	99,665	m
Manga (B)	18,00	m
Puntal de Trazado ( $D_{\text{trazado}}$ )	8,20	m
Puntal de Francobordo (D)	8,207	m
Espesor Chapa	7,00	mm
Puntal a la Cubierta Resistente	11,00	m
Coefficiente de Bloque 85% (CB)	0,575	
Cubierta de Francobordo	8,200	m
Altura de Superestructura	2,800	m
Longitud de Superestructura (S)	99,665	m

### 3.3. CÁLCULO DE FRANCOBORDO

El procedimiento de cálculo de francobordo consiste en definir un buque denominado “buque base”, de modo que, para asignar el francobordo al Buque Proyecto, se tendrá que realizar una serie de correcciones al francobordo calculado según el Convenio para el buque base.

Dichas correcciones se realizarán en función de las diferencias existentes entre el buque base y el buque real (Buque Proyecto).

#### 3.3.1. Francobordo Tabular

El primer paso es definir el tipo de francobordo al que va a estar sujeto el buque. Según se dispone la Regla 27 “*Tipos de Buques*”, existen dos tipos de buques:

- Buques de tipo A: buques para transportar solamente cargas líquidas a granel.
- Buques de tipo B: buques de carga no líquida; el Buque Proyecto no está diseñado para transportar cargas líquidas a granel, por lo que se considerará del Tipo B, por lo que para determinar el francobordo tabular se utilizará la tabla de francobordo para buques tipo B de la Regla 28.

De este modo:

- **Regla 27 - Tipo de Buque:** Buque tipo B ya que no transporta carga líquida a granel.
- **Regla 28 - Francobordo Tabular:** Tomando la Eslora  $L=99,70$  m se requiere de una interpolación lineal para obtener el francobordo tabular para dicha eslora usando la tabla para buques tipo B como sigue:

L = 99 m, FBT= 1250 mm.

L = 100 m, FBT= 1271 mm.

$$\text{FBT (L = 99,70 m)} = \mathbf{1.264,00 \text{ mm}}$$

A partir del francobordo tabular, se aplicarán una serie de correcciones para obtener el calado de verano final.

### **3.3.2. Aplicación de Correcciones**

Como se ha indicado, en función de las diferencias existentes entre las características del Buque Proyecto y las definidas para el buque base, el segundo paso es aplicar las correcciones necesarias al francobordo tabular.

Así, se aplicarán las siguientes Reglas del Convenio de Líneas de Carga:

- **Regla 31 - Corrección por Puntal**

Si D excede L/15 entonces el FBT se deberá aumentar  $\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot R$ , siendo  $R = \frac{L}{0,48}$  para buques con esloras inferiores a 120 m. En este caso la regla es aplicable, por lo que el francobordo tabular deberá incrementarse en:

$$\left(8,207 - \frac{99,665}{15}\right) \cdot \frac{99,665}{0,48} = \mathbf{+325,00 \text{ mm}}$$

- **Regla 33 – Altura Normal de las Superestructuras**

El convenio permite considerar una superestructura cerrada como una reserva adicional de flotabilidad, por lo que con determinadas condiciones la existencia de una superestructura cerrada permite una reducción del francobordo.

La altura normal de una superestructura para dicha eslora L es el resultado de interpolación.

L = 75 m,  $h_n = 1,800 \text{ m}$ .

L > 125 m,  $h_n = 2,300 \text{ m}$ .

$$h_n(\text{L} = 99,70 \text{ m}) = \mathbf{2,047 \text{ m}}$$

- **Regla 34 - *La longitud de una Superestructura (S)***

Será la longitud media de las partes de la superestructura que queden dentro de la eslora (L); en este caso es la longitud de la eslora L ya que se trata de un caso de cubierta corrida de proa a popa.

$$S = 99,665 \text{ m}$$

- **Regla 35 - *Longitud Efectiva de las Superestructuras (E)***

La longitud efectiva (E) de la superestructura cerrada es la longitud real, puesto que la altura real de la misma ( $h_r = 2,80 \text{ m}$ ) sobrepasa el valor normal obtenido en la Regla 33. Por tanto, no requiere corrección.

- **Regla 37 - *Reducción por Superestructura y Troncos***

Cuando la longitud efectiva de superestructuras y troncos sea igual a  $1 \cdot L$  ( $E=L$ , como es este el caso), la reducción del francobordo se obtendrá por la interpolación lineal siguiente:

$$L = 85 \text{ m}; \text{ REDUCCIÓN} = 860 \text{ mm}$$

$$L = 122 \text{ m}; \text{ REDUCCIÓN} = 1.070 \text{ mm}$$

**$L = 99,665 \text{ m}; \text{ Reducción} = - 943 \text{ mm}$**  ( $E=L$ , entonces se reduce el 100% del resultado).

### ***3.3.3. Determinación del Arrufo Real y Normal***

Para la corrección por arrufo, se sigue la Regla 38.

- **Regla 38 - *Corrección por Arrufo***

El arrufo se medirá (Regla 38.3), en los buques de cubierta corrida en la cubierta de francobordo (cubierta superior).

Además, (Regla 38.5) en buques con una superestructura de altura normal que se extienda sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo, como es este el caso, el arrufo se medirá en la cubierta de la superestructura. Cuando la altura exceda de la normal, la diferencia mínima (Z) entre las alturas real y normal se añadirá a cada una de las ordenadas extremas. Análogamente, las ordenadas intermedias, a distancias de  $1/6 \cdot L$  y  $1/3 \cdot L$  de cada una de las perpendiculares, se incrementarán en  $0,444 \cdot Z$  y  $0,111 \cdot Z$ , respectivamente. Si encima de la superestructura hay una toldilla o un castillo cerrados, se permitirá un exceso de arrufo con respecto a dicha toldilla o castillo (Regla 38.12).

En este caso el Buque Proyecto no tiene arrufo, por lo que estamos ante un caso de defecto de arrufo; se incrementará el valor del francobordo tabular.

Se plantea un Buque con superestructura completa cuya altura real es mayor que la altura normal calculada en la Regla 33, entonces:

$$Z = h_{real} - h_{normal} = 2.800 - 2.047 = 753 \text{ mm}$$

Al haber Castillo cerrado por encima de la superestructura (Regla 38.12), se permite un exceso de arrufo con respecto al Castillo de proa de la siguiente manera:

$$S_{adición} = \frac{y \cdot L'}{3 \cdot L} = \frac{553 \cdot 0,5 \cdot 99,665}{3 \cdot 99,665} = 92,20 \text{ mm}$$

Siendo:

y: Diferencia, en mm, entre altura real y altura normal del Castillo en la perpendicular de popa y proa. Se toma altura real de Cubierta Castillo 2,60 m.

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 final.

De tal manera que, ese suplemento de arrufo final se añadirá al arrufo real de proa. Así, los resultados obtenidos son los siguientes:

### CURVA DE ARRUFO NORMAL

Las ordenadas de la curva de arrufo normal se dan en la tabla siguiente (eslora L en m.):

	SITUACIÓN	ORDENADA (mm)	FACTOR
Mitad de Popa	Perpendicular de popa	$25 \cdot (L/3+10)$	1
	1/6·L desde la P. de Pp	$11,1 \cdot (L/3+10)$	3
	1/3·L desde la P. de Pp	$2,8 \cdot (L/3+10)$	3
	Centro del Buque	0	1
Mitad de Proa	Centro del Buque	0	1
	1/3·L desde la P. de Pr	$5,6 \cdot (L/3+10)$	3
	1/6·L desde la P. de Pr	$22,2 \cdot (L/3+10)$	3
	Perpendicular de proa	$50 \cdot (L/3+10)$	1

De modo que los resultados obtenidos son los siguientes:

CURVA DE ARRUFO NORMAL

ARRUFO NORMAL				
SITUACIÓN		Ordenada (mm)	Factor	ARRUFO NORMAL
Mitad de popa	Perpendicular de popa	1.081	1	2.883
	1/6 · L desde Ppp	480	3	
	1/3 · L desde Ppp	121	3	
Centro	Centro del buque	0	1	0
Mitad de proa	1/3 · L desde Ppr	242	3	5.766
	1/6 · L desde Ppr	960	3	
	Perpendicular de proa	2.161	1	
			AN TOTAL	8.649

CURVA DE ARRUFO REAL

ARRUFO REAL				
SITUACIÓN		Ordenada (mm)	Factor	ARRUFO REAL
Mitad de popa	Perpendicular de popa	753	1	2.007
	1/6 · L desde Ppp	334	3	
	1/3 · L desde Ppp	84	3	
Centro	Centro del buque	0	1	0
Mitad de proa	1/3 · L desde Ppr	84	3	3.482
	1/6 · L desde Ppr	334	3	
	Perpendicular de proa	753	1	
	Adición	92,20	16	
			AR TOTAL	5.489

El siguiente paso es comprobar la situación de arrufo calculando la diferencia entre el arrufo real y el arrufo normal de la siguiente manera:

$$AR_{POPA} - AN_{POPA} = 2.007 - 2.883 = - 876,15 \text{ mm}$$

$$AR_{PROA} - AN_{PROA} = 3.482 - 5.766 = - 2.283,85 \text{ mm}$$

Observando en ambos casos una situación de DEFECTO-DEFECTO, por lo que se añadirá ese defecto al francobordo tabular del siguiente modo:

$$\left(0,75 - \frac{S}{2 \cdot L}\right) \cdot \left(\frac{AN_{TOTAL} - AR_{TOTAL}}{16}\right) = \left(0,75 - \frac{99,665}{2 \cdot 99,665}\right) \cdot \left(\frac{8.649 - 5.489}{16}\right) = + 49,37 \text{ mm}$$

### 3.3.4. Aplicabilidad de todas las Reglas

Se añade a continuación una tabla resumen que incluye el francobordo tabular de partida y las correspondientes correcciones aplicables al mismo para obtener los diferentes calados del Buque Proyecto.

CONCEPTO		VALOR (mm)	
R28	Francobordo Tabular	1264,00	
<b>CORRECCIONES</b>		+	-
R31	Por Puntal	325,00	
R37	Por Superestructura y Troncos		943,00
R38	Por Arrufo (defecto - defecto)	49,375	
<b>TOTAL (FB Verano Mímimo)</b>		695,37	

Por tanto, aplicando la Regla 40 del convenio, el calado resultante de francobordo (calado de verano) se calcula como se muestra a continuación:

$$FV_{VERANO} = FBT + Correcciones = 1.264 - 568,63 = 695,37 \text{ mm}$$

$$T_{VERANO} = D_{ppal} - FB_{VERANO} = 8,207 - 0,69537 = 7,51 \text{ m}$$

$$T_{VERANO_{MÍNIMO}} = 7,51 \text{ m}$$

Comparando el valor obtenido de Calado de Verano con el Calado de Diseño del Buque Proyecto ( $T = 7,50 \text{ m}$ ), se observa que la reserva de flotabilidad mínima exigida por el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga no supera la de Diseño.

Se comprueba a su vez, que para las condiciones de carga estudiadas en el Cuaderno 5 “*Condiciones de Carga y Estabilidad*”, el máximo calado se obtiene a la “Salida de Puerto con Lastre” con 7,472 m., por lo que el Buque cumplirá con los requerimientos cuando este navegue dicha condición de carga más desfavorable. Los resultados obtenidos para cada una de las situaciones de navegación se muestran en la siguiente tabla:

CONDICIÓN CARGA	Salida de Puerto CON Lastre	Salida de Puerto SIN Lastre	Salida de Caladero	Llegada a Puerto (100% Carga)	Llegada a Puerto (20% Carga)
Desplazamiento (Tn)	8.028	6.295	7.786	6.767	7.095
Tm (m)	7,472	6,268	7,293	6,585	6,826

Una vez determinado el francobordo de verano mínimo, se procede a la aplicación de la Regla 39 del Convenio como se muestra a continuación:

• **Regla 39 – Altura Mínima de Proa**

La altura de proa ( $F_b$ ), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

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

donde:

$F_b$  = altura mínima de proa calculada, en mm.

$L$  = eslora definida en la Regla 3 en m.  **$L = 99,665$  m.**

$B$  = manga de trazado definida en la regla 3 en m.  **$B = 18,00$  m.**

$d_1$  = calado en el 85% del puntal  $D$ , en m.  **$d_1 = 6,97$  m.**

$CB$  = coeficiente e bloque definido en la Regla 3.  **$CB = 0,575$ .**

$C_{wf}$  = coeficiente del área de la flotación a proa de  $L/2$ .

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{\left( \frac{L}{2} \right) \cdot B} = \frac{490}{\frac{99,665}{2} \cdot 18} = 0,546$$

$A_{wf}$  = área de la flotación a proa de  $L/2$  para el calado  $d_1$ , en  $m^2$ . Se toma de la disposición general  **$A_{wf} = 490$   $m^2$ .**

De modo que se obtiene el siguiente resultado para la altura mínima de proa:

$$F_b = 6.014,75 \text{ mm}$$

Como se observa en la siguiente disposición general del Buque Proyecto, la altura real indicada en el plano es mayor que la requerida, de modo que se cumple la regla.

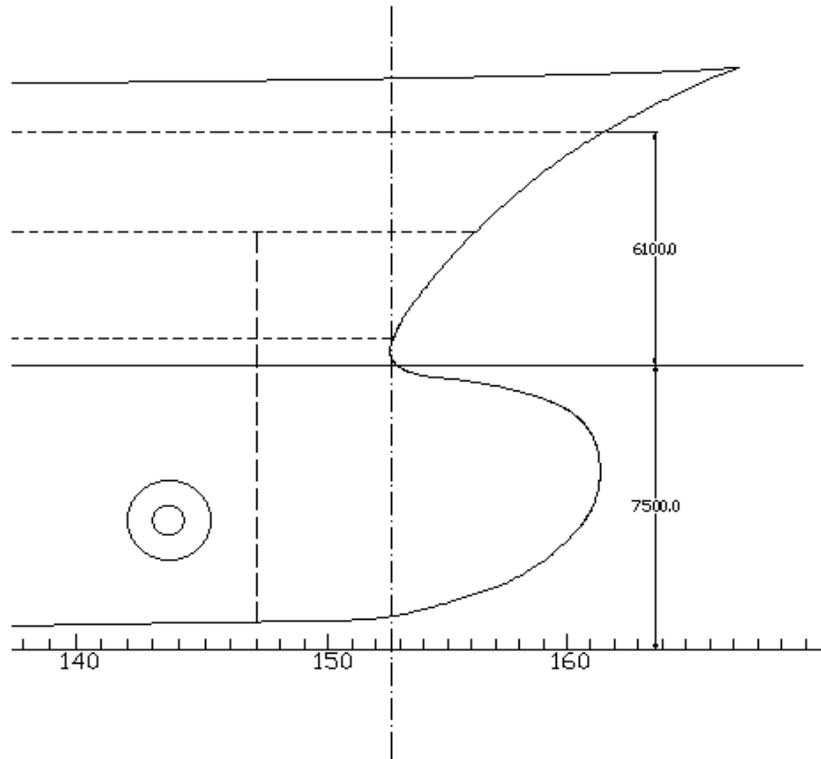


Imagen 3. Altura de proa

- **Regla 39.2 – Reserva de Flotabilidad**

Todos los buques a los que se les haya asignado un francobordo de tipo “B”, salvo los petroleros, quimiqueros y gaseros, tendrán una flotabilidad de reserva adicional en el extremo proel. En la sección delimitada por  $0,15 \cdot L$  a popa de la perpendicular de proa, la suma del área proyectada entre la flotación en carga de verano y el borde de la cubierta (superior) y el área proyectada de una superestructura cerrada (castillo de proa), si existe, no será inferior a:

$$\text{Área mínima} = \left( 0,15 \cdot F_{\min} + 4 \cdot \left( \frac{L}{3} + 10 \right) \right) \cdot \frac{L}{1000} \quad [m^2]$$

siendo:

$$F_{\min} = F_0 \cdot f_1 + f_2$$

$F_0$  = francobordo tabular, en mm. Se toman **1.264 mm**.

$F_1$  = corrección por coeficiente de bloque indicada en la regla 30. Se toma **1**.

$F_2$  = corrección por puntal, en mm, indicada en la regla 31. Se toman **325,00 mm**.

$$\text{Área mínima} = 40,98 \text{ m}^2$$

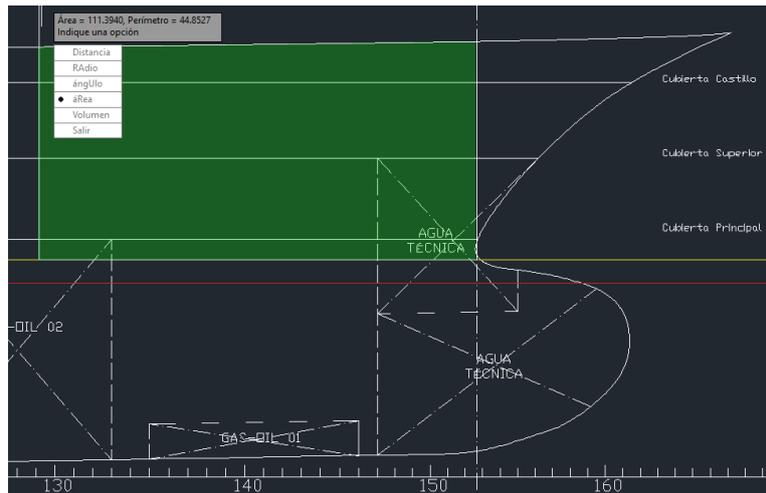


Imagen 4. Área proyectada

Como se puede observar, se extrae del plano de disposición general el área proyectada indicada, teniendo esta un valor de:

$$\text{Área real proyectada} = 111,40 \text{ m}^2$$

Por lo que el Buque Proyecto cumple con la regla 39.2 del Convenio Internacional sobre líneas de carga de 1.966.

### 3.4. DETERMINACIÓN DE TODAS LAS LÍNEAS DE CARGA

A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior y aplicando la **Regla 40 "Francobordos Mínimos"** del Convenio Internacional de Líneas de Carga, se obtienen los distintos francobordos mínimos requeridos en función de la zona de navegación para el Buque Proyecto.

#### • Francobordo de Verano Mínimo

El francobordo mínimo de verano será el francobordo obtenido de las tablas de la regla 28, modificado por las correcciones de las reglas 27, en la medida en que sea aplicable, 29,30,31,32,37,38 y, si procede, la regla 39.

El francobordo en agua salada no será inferior a 50 mm.

$$FV_{VERANO} = FBT + Correcciones = 1.264 - 568,63 = 695,37 \text{ mm}$$

$$T_{VERANO} = D_{fb} - FB_{VERANO} = 8,207 - 0,69537 = 7,51 \text{ m}$$

$$T_{VERANO_{MÍNIMO}} = 7,51 \text{ m}$$

- **Francobordo Tropical**

El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del francobordo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

$$FB_{TROPICAL} = FB_{VERANO} - \frac{T_V}{48} = 695,37 - \frac{(8.207 - 695,37)}{48} = 539,03 \text{ mm}$$

$$T_{TROPICAL} = D_{fb} - FB_{TROPICAL} = 7,67 \text{ m}$$

- **Francobordo de Invierno**

El francobordo mínimo en la zona de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

$$FB_{INVIERNO} = FB_{VERANO} + \frac{T_V}{48} = 695,37 + \frac{(8.207 - 695,37)}{48} = 851,72 \text{ mm}$$

$$T_{INVIERNO} = D_{fb} - FB_{INVIERNO} = 7,36 \text{ m}$$

- **Francobordo de Invierno en el Atlántico Norte**

El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte, durante el periodo estacional de invierno, será el francobordo de invierno más 50 mm.

$$FB_{IAN} = FB_{INVIERNO} + 50 = 851,72 + 50 = 901,72 \text{ mm}$$

$$T_{IAN} = D_{fb} - FB_{IAN} = 7,31 \text{ m}$$

- **Francobordo de Agua Dulce**

El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá aplicando la siguiente expresión:

$$FB_{AD} \text{ (cm)} = FB_{VERANO} - \frac{\Delta}{40 \cdot T}$$

siendo:

$\Delta$  = desplazamiento en agua salada, en toneladas, en la flotación en carga de verano;  
 **$\Delta = 7.917 \text{ Tn.}$**

T = toneladas por centímetro de inmersión en agua salada, en la flotación en carga de verano. Se obtiene de hidrostáticas para ese desplazamiento  **$T = 96,30 \text{ Tn}\cdot\text{m/cm.}$**

$$FB_{AD} (cm) = 695,37 - \frac{7.919}{40 \cdot 96,30} = 693,32 \text{ mm}$$

$$T_{AD} = D_{fb} - FB_{AD} = 8,207 - 0,69332 = 7,51 \text{ m}$$

R40	<b>Francobordos Mínimos (m)</b>	<b>Calados (m)</b>
	Francobordo de Verano Mínimo	695,37
	Francobordo Tropical	539,03
	Francobordo de Invierno	851,72
	Francobordo de inv. En Atlántico. Norte	901,72
	Francobordo de Agua Dulce	693,32

## 4. CÁLCULO DE ARQUEO

Para el cálculo del Arqueo del Buque Proyecto se seguirá el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (1.969).

Se calcularán dos tipos de arqueo:

- **Arqueo Bruto (GT):** función del volumen total de todos los espacios cerrados.
- **Arqueo Neto (NT):** función del volumen total de todos los espacios de carga del buque.

De este modo, con ambos arqueos se definirá el tamaño total del buque y su tamaño utilizable respectivamente.

### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA CUBIERTA DE ARQUEO

Se define la cubierta de arqueo como la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierres estancos de todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco. En un buque con una cubierta superior escalonada, se tomará como cubierta superior la línea más baja de la cubierta expuesta a la intemperie y su prolongación paralelamente a la parte más elevada de dicha cubierta.

De este modo, para el Buque Proyecto se considera como cubierta de arqueo la cubierta superior.

### 4.2. CÁLCULO DEL ARQUEO BRUTO

El Arqueo Bruto de un buque (GT) se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$GT = K_1 \cdot V$$

Donde:

V = volumen total de todos los espacios cerrados del buque expresado en metros cúbicos.

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}V.$$

De manera que para el cálculo de los volúmenes a considerar se extrae de hidrostáticas el volumen bajo cubierta de arqueo y el resto de volúmenes de los planos de disposición general del Cuaderno 7 “*Disposición General*”, siendo estos los que se muestran en la siguiente tabla:

ESPACIO	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
Volumen Bajo Cubierta de Arqueo	13.200,00
Castillo sobre Cubierta Superior	1.100,00
1ª Cubierta Castillo	1.164,80
2ª Cuierta Castillo	980,20
Cubierta Puente	717,60
Guardacalor	120,00
<b>Volumen Total</b>	<b>17.282,60</b>

Así, se calcula  $K_1$  como sigue:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(17.282,60) = 0,2848$$

Por lo que el Arqueo Bruto que se obtiene es de:

$$GT = 0,285 \cdot 17.282,60 = 4.922 \text{ GT}$$

$$\textbf{Arqueo Bruto = 4.922 GT}$$

### 4.3. CÁLCULO DEL ARQUEO NETO

Los espacios de carga que deben incluirse en el cálculo del arqueo neto son los espacios cerrados adecuados para el transporte de la carga que ha de descargarse del buque, a condición de que esos espacios hayan sido incluidos en el cálculo del arqueo bruto.

El Arqueo Neto se calcula como:

$$NT = K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

donde:

$V_c$  = volumen de los espacios de carga en  $m^3$ , que corresponde con el volumen de cubas final obtenido en el Cuaderno 4 "Cálculos de Arquitectura Naval": **3.776,6  $m^3$** .

$K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_c = \mathbf{0,2715}$ .

$d$  = calado de francobordo.  **$T = 7,51$  m.**

$D$  = distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado,  **$D = 11,00$  m.**

$K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT+10.000}{10.000} = \mathbf{1,865}$

$N_1$  = número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas. En este caso es 0 ya que la tripulación no cuenta como pasaje.

$N_2$  = es el resto de pasajeros que también es cero.

$N_1 + N_2 < 13$  ; por lo que se consideran ambos 0.

#### • Comprobaciones

- El factor  $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$  no se puede tomar mayor que 1

$$\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 = \mathbf{0,8287}$$

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

$$0,25 \cdot GT = 1.230,50$$

$$K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 = 849,786$$

Por lo que se tomará  $0,25 \cdot GT = \mathbf{1.230,50}$ .

- NT no se tomará inferior a  $0,30 \cdot GT$ .

$$0,30 \cdot GT = 1.476,60$$

$$NT = K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 1.230,50 + 0 = 1.230,50$$

Por lo que, teniendo en cuenta las comprobaciones, se obtiene un arqueo neto:

***Arqueo Neto = 1.476,60 NT***

## 5. RESUMEN DE RESULTADOS

Finalmente, se muestra la tabla resumen con los resultados finales obtenidos en este Cuaderno 9 “Francobordo y Arqueo”.

CONCEPTO	RESULTADOS	Uds
<i>Francobordo de Verano</i>	695,37	mm
<i>Calado de Verano</i>	7,51	m
<i>Francobordo Tropical</i>	539,03	mm
<i>Calado Tropical</i>	7,67	m
<i>Francobordo de Invierno</i>	851,72	mm
<i>Calado de Invierno</i>	7,36	m
<i>Arqueo Bruto</i>	4.922	GT
<i>Arqueo Neto</i>	1.476,6	NT