



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2021/22**

---

*BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m*  
**MAR AURORA**

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNO**

David Martín Argibay

**TUTOR**

Fernando Lago

**FECHA**

Septiembre 2022

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

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

*CURSO 2.021-2.022*

**PROYECTO NÚMERO 2022-GENO-14**

**TIPO DE BUQUE:** Buque oceanográfico con capacidad polar para operar en zonas árticas y antárticas. 55 m de eslora entre perpendiculares

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** DNVGL, SOLAS + MARPOL+ exigibles en este tipo de buques. POLAR CODE TIPO B ICE CLAS I-B SPS. CLEAN DESIGN. NAUT O EQUIVALENTE

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 300 m<sup>2</sup> de capacidad para laboratorios de investigación. 100 m<sup>2</sup> de superficie libre en cubierta

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** velocidad máxima de 14 nudos y velocidad de crucero de 12 nudos con una autonomía de 40 días

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** 2 grúas de carga a cada costado del buque.

**PROPULSIÓN:** propulsión eléctrica mediante 2 motores eléctricos, mas 4 generadores diésel de diferentes potencias, más el generador de emergencia. Navegación en zona ECA con LNG.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** capacidad para 20 científicos más 8-12 tripulantes

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** laboratorio en frío (-25 ° C), nivel mínimo de vibraciones y ruidos transmitidos a la mar, robot submarino a bordo además de embarcaciones menores tales como 2 Zodiacs a disposición del personal. Helipuerto.

ALUMNO: **D. David Martín Argibay**

---

## RESUMEN BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 M MAR AURORA

### **Castellano**

A lo largo del presente Trabajo Fin de Grado se realizará el anteproyecto de un buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Se trata de un buque que podrá navegar en aguas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidad de navegación con LNG en zona ECA y que poseerá 300 m<sup>2</sup> de laboratorios mas 100 m<sup>2</sup> de superficie libre en cubierta para el estudio llevado a cabo por los 20 científicos que podrán ir a bordo del mismo.

El proyecto consta de un estudio preliminar de oceanográficos semejantes para, posteriormente, desarrollar las formas del buque, estudiar su flotabilidad y estabilidad en distintas condiciones, la potencia necesaria a bordo, la disposición general, el cálculo estructural de la cuaderna maestra, así como el estudio del francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica y equipos y servicios necesarios a bordo para concluir con el estudio del presupuesto y viabilidad de construcción del buque.

### **Galego**

Ao longo deste Traballo Fin de Grao realizarase o anteproxecto dun buque oceanográfico de 55 metros de eslora. Trátase dun buque que poderá navegar en augas polares a 12 nudos con propulsión diésel-eléctrica, 40 días de autonomía, capacidade de navegación con LNG na zona ECA e que contará con 300 m<sup>2</sup> de laboratorios máis 100 m<sup>2</sup> de superficie libre na cuberta para o estudo realizado polos 20 científicos que poderán subir a bordo.

O proxecto consiste nun estudo preliminar de oceanográficos similares para posteriormente desenvolver as formas do buque, estudar a súa flotabilidade e estabilidade en diferentes condicións, a potencia necesaria a bordo, a disposición xeral, o cálculo estrutural da cuaderna maestra, así como o estudo do francobordo, cámara de máquinas, planta eléctrica e equipos e servizos necesarios a bordo para concluír co estudo do orzamento e viabilidade de construción do buque.

### **English**

Throughout this Final Degree Project, the preliminary design of a research vessel of 55 meters in length will be carried out. It is a ship that will be able to navigate in polar waters at 12 knots with diesel-electric propulsion, 40 days of autonomy, navigation capacity with LNG in ECA zone and that will have 300 m<sup>2</sup> of laboratories plus 100 m<sup>2</sup> of free surface on deck for the study carried out by the 20 scientists that will be able to go on board.

The project consists of a preliminary study of similar research vessels an then, develop the vessel's forme, study its buoyancy and stability in different conditions, the power required on board, the general layout, the structural calculation of the master frame, as well as the study of the freeboard, engine room, electrical plant and equipment and services required on board to conclude with the study of the budget and viability of building the vessel.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2021/22**

---

*BUQUE OCEANOGRÁFICO 55 m*  
**MAR AURORA**

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 9**

**FRANCOBORDO Y ARQUEO**

## ÍNDICE

Resumen Buque Oceanográfico 55 m Mar Aurora .....	3
1. Introducción.....	6
2. Cálculo del francobordo.....	7
2.1. Definición de francobordo de un buque .....	7
2.2. Características del buque y términos empleados en los anexos .....	8
2.2.1. Eslora de francobordo .....	8
2.2.2. Manga .....	9
2.2.3. Puntal de francobordo .....	9
2.2.4. Coeficiente de bloque.....	9
2.2.5. Superestructuras .....	9
2.3. Regla 27. Tipos de buque .....	9
2.4. Regla 28. Francobordo tabular .....	10
2.5. Regla 29. Corrección por eslora inferior a 100 m .....	10
2.6. Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque (CB) .....	10
2.7. Regla 31. Corrección por puntal .....	10
2.8. Regla 32. Corrección por la posición de la línea de cubierta .....	11
2.9. Regla 33. Altura normal de las superestructuras .....	11
2.10. Regla 34. Longitud de las superestructuras .....	11
2.11. Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras .....	11
2.12. Regla 36. Troncos .....	11
2.13. Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos .....	12
2.14. Regla 38. Arrufo .....	12
2.15. Francobordo .....	14
2.15.1. Francobordo mínimo reglamentario .....	14
2.15.2. Francobordo de verano .....	14
2.15.3. Francobordo tropical .....	14
2.15.4. Francobordo de invierno .....	15
2.15.5. Francobordo para el Atlántico Norte en invierno .....	15
2.15.6. Francobordo en Agua Dulce .....	15
2.16. Resumen francobordo .....	17
2.17. Regla 39. Altura mínima en proa .....	17
3. Cálculo del arqueo .....	18
3.1. Arqueo bruto .....	18
3.2. Arqueo neto .....	19
3.3. Comprobación arqueo .....	21
4. Bibliografía .....	22

## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación, a lo largo de este cuaderno 9 calcularemos el francobordo de nuestro buque, así como su arqueo.

Para ello utilizaremos el “*Convenio Internacional de Líneas de Carga 1966 y Protocolo de 1988*” y el “*Convenio internacional sobre Arqueo de buques 1969*”.

Estos convenios los deben cumplir todos los buques matriculados en cualquier país y a todos los buques que realicen viajes internacionales.

Para el estudio del francobordo empleamos lo estudiado previamente en el Cuaderno 3, Cuaderno 4 y Cuaderno 5 del estudio de la estabilidad del buque en las diferentes condiciones de carga a lo largo de su vida útil.

Las dimensiones del buque serán las obtenidas en el Cuaderno 3: “Diseño de formas”:

Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Fn
55	11,50	7,80	4,80	0,2657

CB	CM	CP	CF
0,57	0,97	0,59	0,80

*Ilustración 1: dimensiones buque proyecto*

## 2. CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

### 2.1. Definición de francobordo de un buque

Según lo definido en el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de la Organización Marítima Internacional (IMO), el francobordo de un buque es la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

Así lo podemos ver en la siguiente imagen:

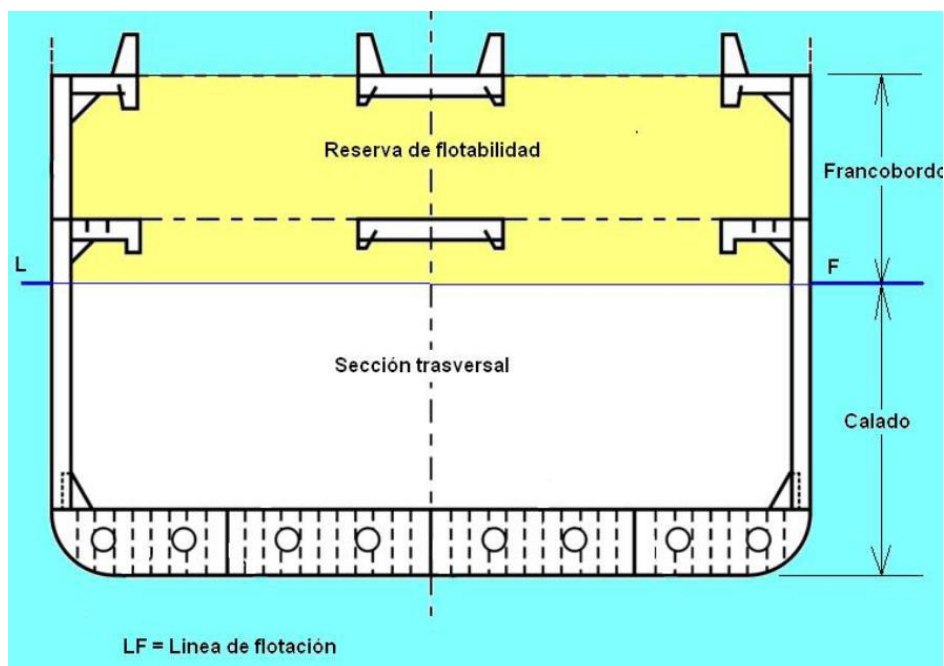


Ilustración 2: esquema francobordo

La cubierta de francobordo es la cubierta continua 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 están dotadas de medios permanentes de cierres estancos.

El francobordo, tal como podemos ver en la imagen, se relaciona directamente con:

- ✓ Reserva de flotabilidad del buque

Quando, en caso de inundación de compartimentos inferiores a la cubierta de francobordo, toda la zona marcada en amarillo en la imagen a lo largo de toda la eslora de flotación del buque es desplazamiento y empuje que el buque gana cuando éste, en caso de inundación, se sumerge.

- ✓ Altura de la cubierta principal con respecto al plano de flotación

Esto afecta directamente a las condiciones de trabajo y seguridad que dispone el buque cuando están los operarios trabajando en la cubierta, ya que a mayor diferencia de alturas entre la cubierta de trabajo y el plano o línea de flotación más difícil es el embarque de agua debido a salpicaduras de las olas o condiciones meteorológicas adversas.

Por otro lado, el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 establece dos categorías de buques:

➤ Buque de tipo A

Son aquellos buques proyectados para transportar cargas líquidas a granel, y en el cual los tanques de carga tienen sólo pequeñas aberturas cerradas por tapas estancas.

➤ Buque de tipo B

Son aquellos que no cumplen con lo indicado para los buques de tipo A. Pueden tener un aumento o reducción del francobordo tubular en función de su grado de seguridad.

- Francobordo incrementado (B+): para los buques con escotillas que no cumplan los criterios mínimos de material, resistencia y características se les añade un valor de la tabla de francobordo en función de la eslora
- Francobordo reducido (B-): para los buques de  $L < 100$  m, que adoptan medidas de protección para la tripulación, desague adecuado, tapas de escotillas estancas y características adecuadas frente a inundaciones: reducción de hasta el 60 % de la diferencia del francobordo tabular entre B y A, reducción del 100 % de la diferencia

De esta manera, los buques de tipo A van a tener, por regla general, menor francobordo disponible por poseer unas condiciones de seguridad mayores, y necesitar una menor reserva de flotabilidad.

En nuestro caso, el buque oceanográfico Mar Aurora, al no llevar cargas líquidas a granel será considerado un buque tipo B.

## 2.2. Características del buque y términos empleados en los anexos

A continuación, calculamos las características y parámetros del buque empleados a la hora de calcular el francobordo del mismo.

### 2.2.1. Eslora de francobordo

Según lo descrito en el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 se tomará como eslora el 96% de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, medida desde el canto alto de dicha quilla, o la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón de dicha flotación, si esta fuera mayor.

Para buques que no posean mecha del timón, como es el caso del Mar Aurora, se tomará como eslora el 96 % de la flotación correspondiente al 85 % del puntal.

$$D (85\%) = 6,63 \text{ m}$$

$$L (85\% D) = 58,84 \text{ m}$$

$$L (96\%) = 56,47 \text{ m}$$



### 2.2.2. Manga

Según lo descrito en el Convenio, la manga, será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna maestra, en los buques de forro metálico, o hasta la superficie exterior del casco, en los buques con forro de otros materiales.

$$B = 11,5 \text{ m}$$

### 2.2.3. Puntal de francobordo

Para los cálculos del francobordo, el puntal necesario es el llamado puntal de francobordo, que se diferencia del puntal de trazado por ser éste más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado. Por tanto:

$$Df = 7,807 \text{ m}$$

### 2.2.4. Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque viene dado por la siguiente expresión:

$$CB = \frac{\nabla}{L \times B \times d_1}$$

Donde:

- $\nabla$ , es el volumen desplazado por la carena del buque, excluido los apéndices en un buque de forro metálico. Obtenemos dicho valor por las hidrostáticas del buque para un calado (T) al 85% del puntal mínimo de trazado

$$\nabla = 2822,74 \text{ m}^3$$

- $d_1$ , es el 85% del puntal mínimo de trazado

$$d_1 = 6,63 \text{ m}$$

Por lo tanto, el coeficiente de bloque es:

$$CB = 0,6556$$

### 2.2.5. Superestructuras

El Mar Aurora, según la definición del Convenio de superestructura (no se considerará superestructura si esta está separada de la manga máxima más de un 4%) no dispondrá de superestructura a efectos de cálculo del francobordo.

## 2.3. Regla 27. Tipos de buque

Como hemos descrito anteriormente, el buque oceanográfico Mar Aurora será un buque tipo:

$$\text{Tipo buque} = \text{Tipo B}$$

## 2.4. Regla 28. Francobordo tabular

Calculamos el francobordo tabular del buque a través de la siguiente tabla:

Eslora del buque Metros	Francobordo Milímetros
46	396
47	408
48	420
49	432
50	443
51	455
52	467
53	478
54	490
55	503
56	516
57	530
58	544
59	559
60	573

Ilustración 3: tabla francobordo tabular buque tipo B

Considerando la eslora de francobordo de nuestro buque e interpolando:

$$\mathbf{Francobordo\ tabular = 523\ mm}$$

## 2.5. Regla 29. Corrección por eslora inferior a 100 m

No es aplicable al buque ya que la eslora de la superestructura es mayor del 35% de la eslora como podemos comprobar en los planos de la disposición general del buque del Cuaderno 7.

## 2.6. Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque (CB)

Esta regla se aplica cuando el coeficiente de bloque es mayor de 0,68. Dado que el coeficiente de bloque es inferior a ese valor, esta corrección no es aplicable.

## 2.7. Regla 31. Corrección por puntal

Se aplica cuando el puntal (D) es superior a  $L/15$ . El francobordo tabular aumentará siguiendo la siguiente expresión:

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

Siendo R, para esloras inferiores a 120 m:

$$R = \frac{L}{48}$$

Por lo tanto:

$$R = 117,646 \text{ m}$$

$$\text{Corrección} = 476 \text{ mm}$$

## 2.8. Regla 32. Corrección por la posición de la línea de cubierta

Esta regla se aplica cuando el puntal real hasta el borde superior de la marca de la línea de cubierta sea superior o inferior a D, la diferencia entre los puntales se añadirá o restará, respectivamente al francobordo.

Esta regla no aplica al oceanográfico.

## 2.9. Regla 33. Altura normal de las superestructuras

La altura normal de una superestructura viene determinada por la siguiente tabla:

*Altura normal (en metros)*

L (metros)	Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 o menos	0,90	1,80
75	1,20	1,80
126 o más	1,80	2,30

*Ilustración 4: altura normal superestructura Convenio*

Dada nuestra eslora de 56,47 m, la **altura normal de superestructura** es de **1,8 m**.

## 2.10. Regla 34. Longitud de las superestructuras

Según lo dispuesto en el Convenio, la longitud de las superestructuras será la longitud media de aquella parte de la superestructura que quede dentro de la eslora.

$$\text{Longitud superestructura} = 26,93 \text{ m}$$

## 2.11. Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras

La longitud efectiva (E) de una superestructura cerrada de altura normal será su longitud real. Por lo tanto, será también **26,93 m**.

## 2.12. Regla 36. Troncos

La regla 36 relativa a los troncos del buque no es aplicable a nuestro buque oceanográfico.

## 2.13. Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos

Dicha Regla establece que cuando la longitud efectiva de las superestructuras y troncos sea igual a 1,0L, la reducción del francobordo será de 350 mm, para 24 metros de eslora 860 mm, para 75 metros de eslora y 1070 mm para 122 metros de eslora y esloras superiores.

Cuando la longitud total efectiva de las superestructuras y troncos sea inferior a 1,0 L, la reducción será un porcentaje obtenido de la siguiente tabla:

*Porcentaje de reducción para buques de tipo «B»*

	Longitud efectiva total de superestructuras y troncos											
	Línea	0	0,1L	0,2L	0,3L	0,4L	0,5L	0,6L	0,7L	0,8L	0,9L	1,0L
Buques con castillo y sin puente aislado ...	I	0	5	10	16	23,5	32	46	63	75,3	87,7	100
Buques con castillo y puente aislado .....	II	0	6,3	12,7	19	27,5	36	46	63	75,3	87,7	100

Los porcentajes correspondientes a longitudes intermedias de superestructuras se obtendrán por interpolación lineal.

*Ilustración 5: porcentaje de reducción buques tipo B por superestructuras y troncos*

La longitud de nuestra superestructura es de 26,93 m. Si la eslora de francobordo es 56,47 m:

$$\frac{26,93 \text{ m}}{56,47 \text{ m}} = 0,477L$$

Haciendo interpolación lineal en la gráfica para un buque con castillo y puente aislado:

$$\% \text{ reducción} = 34\%$$

Por tanto, para 621 mm correspondientes a un buque con la eslora de francobordo igual a 56,47 m, con el porcentaje de reducción calculado arriba, tenemos:

$$\text{Reducción por superestructuras} = -212 \text{ mm}$$

## 2.14. Regla 38. Arrufo

Según el Convenio, el arrufo se medirá desde la cubierta en el costado hasta una línea de referencia trazada paralelamente a la quilla y que pase por el punto de la línea de arrufo correspondiente al centro del buque.

El Mar Aurora no posee arrufo. Sin embargo, calculamos el arrufo normal que proporciona la regla:

*Curva de arrufo normal*

(L en metros)

	Situación	Ordenadas (en milímetros)	Factor
Mitad de popa ... ..	Perpendicular de popa ... ..	$25 \frac{L}{3} (- + 10)$	1
	1/6 L desde la p. de Pp. ... ..	$11,1 \frac{L}{3} (- + 10)$	3
	1/3 L desde la p. de Pp. ... ..	$2,8 \frac{L}{3} (- + 10)$	3
	Centro del barco ... ..	0	1
Mitad de proa ... ..	Centro del barco ... ..	0	1
	1/3 L desde la p. de Pr. ... ..	$5,6 \frac{L}{3} (- + 10)$	3
	1/6 L desde la p. de Pr. ... ..	$22,2 \frac{L}{3} (- + 10)$	3
	Perpendicular de proa ... ..	$50 \frac{L}{3} (- + 10)$	1

*Ilustración 6: tabla arrufo normal*

Empleando la tabla de arrufo normal arriba expuesta, obtenemos la tabla de arrufo normal para nuestro buque y que es:

Situación	Ordenada (mm)	Factor	Producto		
Perpendicular de popa	721	1	721	Mitad de popa	1924
1/6 L desde Ppp	320	3	960		
1/3 L desde Ppp	83	3	243		
Amidships	0	1	0		
1/3 L desde Ppr	161	3	483	Mitad de proa	3844
1/6 L desde Ppr	640	3	1920		
Perpendicular de proa	1441	1	1441		

*Ilustración 7: arrufo normal Mar Aurora*

Por lo tanto, al no tener arrufo hay una diferencia de arrufo de -1924 en popa y -3844 en proa:

<b>Variación arrufo en proa</b>	-240
<b>Variación de arrufo en popa</b>	-475
<b>Variación de arrufo media</b>	-357

*Ilustración 8: variación de arrufo*

Con esto, calculamos el defecto de arrufo a través de la siguiente expresión:

$$s = \frac{y}{3} \times \frac{L'}{L}$$

Donde:

- s, es el suplemento de arrufo, a deducir del defecto o añadir al exceso de arrufo
- y, es la diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en el extremo de la línea de arrufo
- L', es la longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo, hasta un máximo de 0,5L
- L, es la eslora del buque

Por lo tanto:

	Altura real (mm)	Altura normal (mm)	Diferencia	s
Proa	1850	1800	50	5,09
Popa	0	1800	-1800	0

Ilustración 9: arrufo normal, real, diferencia y valor del factor 's'

Calculamos ahora el factor:

$$0,75 - \frac{S_1}{2L}$$

Siendo 'S<sub>1</sub>' el valor de la longitud de la superestructura:

$$\text{factor} = 0,5116$$

Por último, multiplicamos este factor por la variación de arrufo calculada anteriormente:

$$\text{Corrección} = 183 \text{ mm}$$

## 2.15. Francobordo

### 2.15.1. Francobordo mínimo reglamentario

Aplicando al francobordo tabular las correcciones que hemos calculado anteriormente, obtenemos un francobordo mínimo reglamentario de:

$$FB = FB_{Tab} + C_{Puntal} - C_{Superestructura} + C_{Arrufo}$$

$$FB = 970 \text{ mm}$$

### 2.15.2. Francobordo de verano

El francobordo de verano coincide con el francobordo mínimo reglamentario calculado anteriormente y que es:

$$FB_{Verano} = 970 \text{ mm}$$

Asimismo, obtenemos el calado máximo de verano que será la resta entre el puntal de francobordo y el francobordo de verano:

$$T_{MáxVerano} = D_{FB} - FB_{Verano}$$

$$T_{MáxVerano} = 7807 - 970 = 6837 \text{ mm}$$

### 2.15.3. Francobordo tropical

Calculamos ahora el francobordo tropical de la siguiente manera:

$$FB_{Tropical} = FB_{Verano} - \left( \frac{T_{MáxVerano}}{48} \right)$$

Por lo tanto, sustituyendo valores:

$$FB_{Tropical} = 828 \text{ mm}$$

Por lo que el calado máximo en zona tropical será de:

$$T_{MáxTropical} = D_{FB} - FB_{Tropical}$$

$$T_{MáxTropical} = 7807 - 828 = 6979 \text{ mm}$$

#### 2.15.4. Francobordo de invierno

A continuación, procedemos a calcular el francobordo de invierno a través de la siguiente expresión:

$$FB_{Invierno} = FB_{Verano} + \left( \frac{T_{MáxVerano}}{48} \right)$$

$$FB_{Invierno} = 1112 \text{ mm}$$

Por lo que el calado máximo en invierno será:

$$T_{MáxInvierno} = D_{FB} - FB_{Invierno}$$

$$T_{MáxInvierno} = 7807 - 1112 = 6694 \text{ mm}$$

#### 2.15.5. Francobordo para el Atlántico Norte en invierno

Según el Convenio, el francobordo para el Atlántico Norte en invierno para buques de eslora no superior a 100 metros que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte en invierno será el francobordo de invierno más 50 milímetros. Por lo tanto:

$$FB_{A.N. Invierno} = FB_{Invierno} + 50$$

$$FB_{A.N. Invierno} = 1162 \text{ mm}$$

Por lo que el calado máximo en invierno en el Atlántico Norte será:

$$T_{MáxA.N. Invierno} = D_{FB} - FB_{A.N. Invierno}$$

$$T_{MáxA.N. Invierno} = 7807 - 1162 = 6645 \text{ mm}$$

#### 2.15.6. Francobordo en Agua Dulce

Por último, calculamos el francobordo en agua dulce que se obtendrá restando al francobordo mínimo en agua salada, la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta}{40 \times T}$$

Donde:

- $\Delta$ , es el desplazamiento en agua salada en toneladas para la flotación en carga de verano (obtenido de hidrostáticas)
- T, son las toneladas por cm de inmersión en agua salada en la flotación en carga de verano (obtenido de hidrostáticas)

Hydrostatics at DWL



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	3012	t
2	Volume (displace	2938,466	m^3
3	Draft Amidships	6,837	m
4	Immersed depth	6,850	m
5	WL Length	59,114	m
6	Beam max extent	11,500	m
7	Wetted Area	1221,928	m^2
8	Max sect. area	76,597	m^2
9	Waterpl. Area	572,722	m^2
10	Prismatic coeff. (	0,649	
11	Block coeff. (Cb)	0,631	
12	Max Sect. area c	0,984	
13	Waterpl. area coe	0,842	
14	LCB length	24,581	from z
15	LCF length	23,252	from z
16	LCB %	41,582	from z
17	LCF %	39,333	from z
18	KB	3,933	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	1,908	m
21	BML	43,992	m
22	GMt corrected	5,841	m
23	GML	47,925	m
24	KMt	5,841	m
25	KML	47,925	m
26	Immersion (TPc)	5,870	tonne/
27	MTc	26,245	tonne.
28	RM at 1deg = GM	307,035	tonne.
29	Length:Beam rati	5,140	

Density (water)

Std. densities

Ilustración 10: hidrostáticas obtenidas en Maxsurf al calado máximo de verano

Por lo tanto:

$$FB_{\text{Agua Dulce}} = FB_{\text{Verano}} - \frac{\Delta}{40 \times T}$$

$$FB_{\text{Agua Dulce}} = FB_{\text{Verano}} - \frac{3012}{40 \times 5,87}$$

$$FB_{\text{Agua Dulce}} = 957 \text{ mm}$$

Por lo que el calado máximo en agua dulce será:

$$T_{\text{MáxAgua Dulce}} = D_{FB} - FB_{\text{Agua Dulce}}$$

$$T_{\text{MáxInvierno}} = 7807 - 957 = 6850 \text{ mm}$$



## 2.16. Resumen francobordo

A continuación, mostramos una tabla resumen con los francobordos en cada condición y su correspondiente calado:

FRANCBORDOS	VALOR (mm)	CALADO MÁX (m)	CALADO REAL EN NAVEGACIÓN (m)	FRANCBORDO SOBRANTE (m)	CUMPLE
FB verano	970	6,837	4,75	3,05	Cumple
FB tropical	828	6,979	4,75	3,05	Cumple
FB invierno	1112	6,694	4,75	3,05	Cumple
FB invierno A.N.	1162	6,645	4,75	3,05	Cumple
FB agua dulce	957	6,85	4,75	3,05	Cumple

Ilustración 11: tabla resumen de francobordos, calados máximos en cada condición, calado real en navegación y francobordo sobrante para el calado de navegación real con respecto a la cubierta estanca

## 2.17. Regla 39. Altura mínima en proa

Según el Convenio, la altura de proa, definida como distancia vertical en la perpendicular de proa, entre la flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento de proyecto, y el canto alto, en el costado, de la cubierta expuesta, no será inferior al valor obtenido de la siguiente expresión:

$$\text{Altura mínima proa} = 56 \times L \times \left(1 - \frac{L}{500}\right) \times \left(\frac{1,36}{CB + 0,68}\right) \text{ (mm)}$$

Donde:

- L es la eslora de francobordo del buque igual a 56,47 m
- CB es el coeficiente de bloque del buque que no se tomará inferior a 0,68

Por lo tanto:

$$\text{Altura mínima proa} = 2805,16 \text{ mm}$$

$$\text{Altura mínima proa} = 2,805 \text{ m}$$

Comprobando la altura mínima en proa que debe tener el buque al calado de máxima carga de 4,75 m:

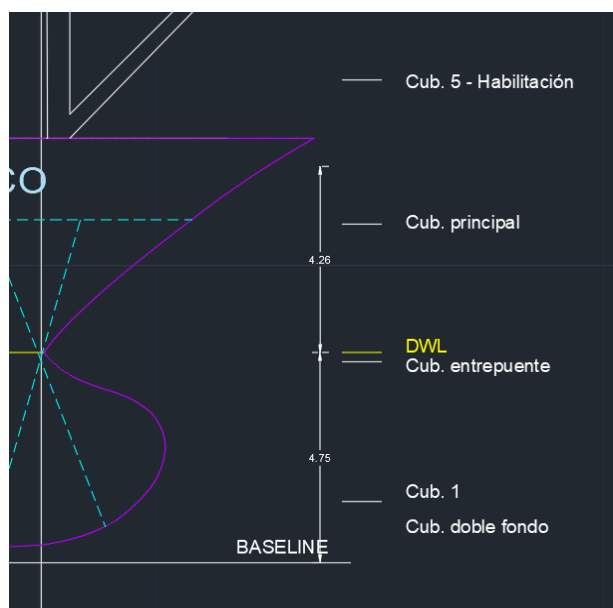


Ilustración 12: comprobación de la altura mínima en proa

### 3. CÁLCULO DEL ARQUEO

A continuación, calculamos el arqueo de nuestro buque según el Convenio Internacional sobre Arqueo de buques de 1969.

El arqueo bruto mide la capacidad volumétrica del buque y se define como el volumen total del mismo. Sin embargo, el arqueo neto sólo tiene en cuenta la capacidad empleable del buque.

#### 3.1. Arqueo bruto

Calculamos el arqueo bruto del oceanográfico de la siguiente manera:

$$GT = K_1 \times V$$

Donde:

➤  $K_1$  es:

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

➤  $V$ , es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque en  $m^3$

Para obtener  $V$ , el volumen total de todos los espacios cerrados, hallamos, primeramente, por hidrostáticas, el volumen hasta la cubierta principal:

Hydrostatics at DWL ×

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	3587	t
2	Volume (displace	3499,477	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	7,800	m
4	Immersed depth	7,813	m
5	WL Length	60,320	m
6	Beam max extent	11,500	m
7	Wetted Area	1344,070	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	87,621	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	592,688	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (	0,662	
11	Block coeff. (Cb)	0,646	
12	Max Sect. area c	0,986	
13	Waterpl. area coe	0,854	
14	LCB length	24,443	from z
15	LCF length	24,195	from z
16	LCB %	40,522	from z
17	LCF %	40,110	from z
18	KB	4,476	m
19	KG fluid	0,000	m
20	BMt	1,657	m
21	BML	40,879	m
22	GMt corrected	6,133	m
23	GML	45,355	m
24	KMt	6,133	m
25	KML	45,355	m
26	Immersion (TPc)	6,075	tonne/
27	MTC	29,580	tonne.
28	RM at 1deg = GM	383,959	tonne.
29	Length:Beam rati	5,245	

Density (water)

Ilustración 13: hidrostáticas a calado 7,8 m (puntal cubierta principal)

Por lo que el volumen del casco es:

$$V_{Casco} = 3499,48 \text{ m}^3$$

Calculamos, a través de la disposición general, el volumen de la superestructura del buque (habilitación y puente de gobierno):

$$V_{Superestructura} = 2223,74 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, sumando los dos valores:

$$V = 5723,22 \text{ m}^3$$

Y calculando  $K_1$ :

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

$$K_1 = 0,2751$$

Por lo tanto:

$$GT = 1574,76$$

### 3.2. Arqueo neto

El arqueo neto, como hemos mencionado anteriormente, hace referencia a los espacios cerrados destinados al transporte de la carga. Se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$NT = K_2 \times V_c \times \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_1 \times \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

Donde:

➤  $K_2$

$$K_2 = 0,2 + 0,02 \log(V_c)$$

$$K_2 = 0,2556$$

➤  $V_c$ , es el volumen de los espacios de carga en metros cúbicos. Lo obtenemos a través de los cuadernos 4 y 5 de Maxsurf.

	Item Name	Specific gravity	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship		1	1355,000	1355,000						0,000	User Spec
2	T. Lastre Pique de proa	Tank default (1,0250)	0%	23,170	0,000	22,605	0,000	53,901	0,000	0,331	4,847	Maximum
3	T. Sentinas	Tank default (1,0000)	0%	7,633	0,000	7,633	0,000	33,313	0,000	0,000	1,557	Maximum
4	T. Agua Técnica 0BR	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	-2,609	0,740	33,593	Maximum
5	T. Agua Dulce 0BR	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	-2,679	0,743	32,829	Maximum
6	T. Aguas Grises y Negras 0BR	Tank default (1,0000)	0%	47,166	0,000	47,166	0,000	23,791	-0,297	-0,001	108,137	Maximum
7	T. Fangos	Tank default (1,0000)	0%	4,349	0,000	4,349	0,000	19,142	0,104	0,150	2,228	Maximum
8	T. Aceite Lubricación	Tank default (0,9200)	100%	4,001	4,001	4,349	4,349	18,427	-1,286	0,831	2,050	Maximum
9	T. Aceite Hidráulico	Tank default (0,9200)	100%	10,974	10,974	11,928	11,928	16,435	0,000	0,976	31,576	Maximum
10	T. Sedimentación 0BR	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	-3,868	1,023	7,552	Maximum
11	T. Sedimentación 0ER	Tank default (0,8500)	100%	6,798	6,798	7,997	7,997	17,571	3,868	1,023	7,552	Maximum
12	T. Almacén 0BR Medio	Tank default (0,8500)	100%	19,996	19,996	23,525	23,525	36,723	-1,912	0,789	28,316	Maximum
13	T. Almacén 1.1BR	Tank default (0,8500)	100%	56,502	56,502	66,473	66,473	10,450	-2,655	3,445	71,958	Maximum
14	T. Almacén 1.1ER	Tank default (0,8500)	100%	56,502	56,502	66,473	66,473	10,450	2,655	3,445	71,958	Maximum
15	T. Uso Diario 1BR	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	-4,050	4,100	0,837	Maximum
16	T. Uso Diario 1ER	Tank default (0,8500)	100%	4,418	4,418	5,198	5,198	24,400	4,050	4,100	0,837	Maximum
17	T. Lastre 1BR CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	-2,585	3,925	46,842	Maximum
18	T. Lastre 1ER CCMM1	Tank default (1,0250)	100%	21,594	21,594	21,067	21,067	6,146	2,585	3,925	46,842	Maximum
19	T. Lastre 1BR CCMM3	Tank default (1,0250)	30%	28,064	8,419	27,380	8,214	32,644	-4,353	1,900	2,792	Maximum
20	T. Lastre 1ER CCMM3	Tank default (1,0250)	30%	28,064	8,419	27,380	8,214	32,644	4,353	1,900	2,792	Maximum
21	T. LNG CCMM2	Tank default (0,4200)	100%	16,267	16,267	38,732	38,732	17,050	0,000	2,560	39,061	Maximum
22	T. LNG CCMM3	Tank default (0,4200)	100%	16,267	16,267	38,732	38,732	31,850	0,000	2,560	2,625	Maximum
23	T. Almacén 0BR Proa	Tank default (0,8500)	100%	13,267	13,267	15,608	15,608	41,869	-1,134	0,840	9,882	Maximum
24	T. Lastre 0C Proa	Tank default (1,0250)	50%	9,396	4,698	9,167	4,583	47,540	0,000	0,611	7,790	Maximum
25	T. Almacén 1.2BR	Tank default (0,8500)	100%	43,854	43,854	51,593	51,593	14,346	-2,783	3,048	39,716	Maximum
26	T. Almacén 1.2ER	Tank default (0,8500)	100%	43,854	43,854	51,593	51,593	14,346	2,783	3,048	39,716	Maximum
27	T. Lastre 0BR	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	-0,886	0,006	20,591	Maximum
28	T. Lastre 0ER	Tank default (1,0250)	0%	16,237	0,000	15,841	0,000	31,492	0,886	0,006	20,591	Maximum
29	T. Aguas Grises y Negras 0ER	Tank default (1,0000)	0%	47,166	0,000	47,166	0,000	23,791	0,297	-0,001	108,137	Maximum
30	T. Almacén 0ER Medio	Tank default (0,8500)	100%	19,996	19,996	23,525	23,525	36,723	1,912	0,789	28,316	Maximum
31	T. Almacén 0ER Proa	Tank default (0,8500)	100%	13,267	13,267	15,608	15,608	41,869	1,134	0,840	9,882	Maximum
32	T. Agua Técnica 0ER	Tank default (1,0000)	100%	16,985	16,985	16,985	16,985	29,792	2,609	0,740	33,593	Maximum
33	T. Agua Dulce 0ER	Tank default (1,0000)	100%	15,876	15,876	15,876	15,876	27,500	2,679	0,743	32,829	Maximum
34	<b>Total Loadcase</b>				<b>1822,623</b>	<b>766,909</b>	<b>563,393</b>	<b>26,044</b>	<b>-0,003</b>	<b>4,178</b>	<b>897,827</b>	
35	FS correction										0,493	
36	VCG fluid										4,671	

Ilustración 14: condiciones de carga. Volumen de tanques de carga. Maxsurf

Sumando los volúmenes de todos los tanques de carga, obtenemos un  $V_c$ :

$$V_c = 606,56 \text{ m}^3$$

- $d$ , es el calado de trazado que según el Convenio será el calado correspondiente a la línea de carga de verano:

$$d = 4,75 \text{ m}$$

- $D$ , es el puntal de trazado en el centro del buque

$$D = 7,807 \text{ m}$$

- $k_1$ , es el valor calculado anteriormente

$$k_1 = 0,2751$$

- $N_1$ , es el número de pasajeros dispuestos en camarotes de menos de 8 literas, y dado que ninguna de las personas a bordo puede ser considerado como pasajero como tal, ya que no es un buque de pasaje si no de propósito especial (SPS):

$$N_1 = 0$$

- $N_2$ , es el resto de los pasajeros o el número de pasajeros que el buque está autorizado a llevar, que, igual que en el caso de  $N_1$ , al ser un buque SPS ningunas de las personas a bordo son consideradas pasajeros como tal, por lo tanto:

$$N_2 = 0$$

Por lo tanto, el arqueo neto será:

$$NT = 102,05$$

### 3.3. Comprobación arqueo

A continuación, comprobamos los diferentes resultados de los factores que incluye el reglamento y que son:

➤  $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 < 1$

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 0,66$$

➤  $K_2 \times V_c \times \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  no inferior a 0,25 GT

$$K_2 \times V_c \times \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 0,25 \text{ GT} = 393,69$$

- NT, el arque neto, no se tomará inferior a 0,25 GT, por lo tanto, el valor calculado anteriormente para el arqueo neto es inferior a 0,25 GT, por lo que el arqueo neto del buque será:

$$NT = 393,69$$

## 4. BIBLIOGRAFÍA

- Convenio Internacional de Líneas de Carga 1966 y Protocolo de 1988
- Convenio internacional sobre Arqueo de buques 1969