



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2017/18**

---

*BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA/O**

Diego Carral Amenedo

**TUTORAS/ES**

Marcos Míguez González

**FECHA**

JULIO 2018

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

**PROYECTO NÚMERO: 18-12**

**TIPO DE BUQUE:** Bulkcarrier tipo “NEOPANAMAX” de 120.000 TPM adaptado a la operación en terminales graneleras del golfo de México y Asia.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, SOLAS, MARPOL y EXIGENCIAS DE LA ACP (Autoridad del Canal de Panamá).

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 120.000 T.P.M. grano, mineral, carbón

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 14 nudos en condiciones de servicio, 85% de MCR + 15% de margen de mar. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Escotillas de accionamiento hidráulico.

**PROPULSIÓN:** Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo, motores auxiliares de tipo dual (FUEL-GNL).

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 30 tripulantes en camarotes individuales.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Los habituales en este tipo de buques y posibilidad de interconexión del cuadro eléctrico del buque con la corriente de tierra.

Ferrol, 30 Octubre 2017

ALUMNO/A: **D. DIEGO CARRAL AMENEDO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER  
CURSO 2017/18**

---

*BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno 9**

**“FRANCOBORDO Y ARQUEO”**

**Indice**

1 RPA ..... 2

2 Introducción ..... 5

3 Cálculo del francobordo ..... 6

    3.1 Consideraciones Iniciales ..... 6

    3.2 Cálculo..... 6

    3.3 Cálculo y comprobación mediante EXCEL.....14

4 Arqueo .....22

    4.1 Arqueo Bruto.....22

    4.2 Arqueo Neto.....24

## 2 INTRODUCCIÓN

En este Cuaderno se realizará el cálculo del francobordo y arqueo de nuestro Buque Proyecto.

Las dimensiones y coeficientes de nuestro Buque Proyecto, obtenidas en el Cuaderno 3 “Coeficientes y Plano de Formas”, son las siguientes:

DIMENSIONES, COEFICIENTES y CARACTERÍSTICAS		
Eslora total (LOA)	250	m
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	245,5	m
Manga (B)	42,4	m
Calado (T)	14,9	m
Puntal (D)	21,55	m
Desplazamiento ( $\Delta$ )	142652	Tn
Superficie Mojada (m <sup>2</sup> )	16380	m <sup>2</sup>
Coeficiente Bloque (Cb)	0,897	
Coeficiente Prismático (Cp)	0,901	
Coeficiente de la Maestra (Cm)	0,996	
Coeficiente de Flotación (Cf)	0,957	
Velocidad (knots)	14	knots
Potencia (kW)	21660	kW

## 3 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

El cálculo del francobordo se realizará según el Convenio internacional sobre líneas de carga de 1966 y Protocolo de 1988.

### 3.1 Consideraciones Iniciales

El objetivo principal del Convenio Internacional Sobre Líneas De Carga es el establecimiento de límites respecto del calado hasta el que se puede cargar un buque para contribuir a la seguridad de la navegación. Esos límites se establecen en forma de francobordos, junto con normas relativas a la estanqueidad a la intemperie y la integridad de estanqueidad.

Las reglas del Convenio tienen en cuenta los posibles peligros que surgen en diferentes zonas y en distintas estaciones del año. El anexo técnico contiene varias medidas adicionales de seguridad relativas a puertas, puertas de desagüe, escotillas y otros elementos del buque. El objetivo principal de estas medidas es garantizar la integridad de estanqueidad del casco de los buques por debajo de la cubierta de francobordo.

Las líneas de carga asignadas deben marcarse a cada lado en el centro del buque, junto con la línea de cubierta.

En el Cuaderno 1 se hizo un cálculo preliminar del Francobordo para estudiar la viabilidad del buque con las dimensiones calculadas. En este cuaderno haremos un estudio más detallado, con valores definitivos.

Para el cálculo de francobordo tendremos en cuenta unas consideraciones previas. Nuestro buque será tipo “B” con una eslora superior a 100 metros y que cumple con los siguientes requerimientos:

- Las medidas adoptadas para la protección de la tripulación son adecuadas.
- Los medios de desagüe son adecuados.
- Las tapas de escotillas situadas en emplazamientos de las clases 1 y 2 cumplen con lo dispuesto en la regla 16y tienen resistencia suficiente, considerados con especial atención sus dispositivos de estanqueidad y sujeción.
- El buque, cuando esté cargado hasta su flotación en carga de verano, permanecerá a flote en condiciones satisfactorias de equilibrio después de inundarse un compartimento aislado cualquiera averiado, con una permeabilidad supuesta del 95%, excepto el espacio de máquinas.

Por todo lo expuesto, y según las reglas de “Convenio Internacional sobre Líneas de Carga del año 1966”, se puede aplicar una reducción de los valores de la tabla “B” de la regla 28 del 60% de la diferencia entre los valores tabulares tipo “B” y “A”, correspondientes a la eslora del buque, como veremos en la siguiente sección.

### 3.2 Cálculo

Para comenzar con el cálculo del francobordo primero debemos calcular una serie de dimensiones que utilizaremos a lo largo del cálculo. Las definiciones de estas magnitudes se encuentran en la Regla 3:

Eslora de Francobordo:

$$(1) L_{FR} = \text{Max}(L_{FR1} ; L_{FR2})$$

$$(2) L_{FR1} = 96\%L_{Tot\ 0,85\cdot D}$$

Donde  $L_{Tot\ 0,85\cdot D}$  = Eslora total para una flotación a un calado del 85% del puntal.

El puntal de nuestro Buque Proyecto es de 21,55m, por tanto:

$$85\% D = 0,85 * 21,55 = 18,32 \text{ m}$$

La eslora medida para este calado del perfil del buque es de :

$$L_{Tot\ 0,85*D} = 250 \text{ m}$$

Sustituyendo en (2):

$$L_{FR1} = 96\%L_{Tot\ 0,85*D} = 0,96 * 250 = 240 \text{ m}$$

Y como  $L_{FR2} = L_{pp}$

Sustituyendo en (1):

$$L_{FR} = \text{Max}(L_{FR1}; L_{FR2}) = \text{Max}(240; 245,5) = 245,5 \text{ m}$$

En adelante esta eslora será designada como L.

La manga de francobordo será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna.

$$B = 40 \text{ m}$$

El puntal de francobordo se define como el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la chapa de trancañil de la cubierta de francobordo.

$$(3) D_{FR} = D + e_{tr}$$

$$D = 21,55$$

$e_{tr} = 20 \text{ mm}$ , y sustituyendo en (3)

$$(3) D_{FR} = D + e_{tr} = 21,55 + 0,02 = 21,57 \text{ m}$$

El coeficiente de bloque lo calculamos mediante la siguiente expresión:

$$(4) Cb = \frac{\nabla}{L * B * d_1}$$

$$d_1 = 0,85 * D = 18,33 \text{ m}$$

$$L = 245,5 \text{ m}$$

$$B = 42,4 \text{ m}$$

$$\nabla = 171148 \text{ m}^3$$

$$(4) Cb = \frac{171148}{245,5 * 42,4 * 18,33} = 0,897$$

Otras definiciones importantes son:

**Cubierta de francobordo:** 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, que en nuestro caso será la cubierta principal, la cual está situada a 21,55 m de la línea de base.

**Superestructura:** toda construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extienda de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga. En nuestro caso solo se considera superestructura el castillo, ya que el resto de las estructuras existentes cuentan con una separación al costado superior al 4% del valor de la manga.

Por lo tanto, para concluir los cálculos preliminares, las características de nuestro Buque Proyecto son:

- $L_{pp} = 245,5$  m
- $B = 42,4$  m
- $D = 21,57$  m
- $C_b = 0,897$

Como mencionábamos anteriormente, y siguiendo la **Regla 27**, nuestro Buque Proyecto se trata de un buque tipo B. Pasamos a calcular el francobordo tabular mediante la **Regla 28**, a partir de la tabla 28.2 e interpolando entre los valores de la tabla:

L (m)	TIPO A (mm)	TIPO B (mm)
245	2979	3949
245,5	2983	3957
246	2986	3965

Como nuestro buque es un B-60, podemos realizar una reducción del 60% de la diferencia entre el francobordo tabular de un buque Tipo B, y otro Tipo A a igualdad de eslora, al cumplir los párrafos 8, 11, 12 y 13.

Por lo tanto el francobordo tabular de un buque B-60 es:

$$Fb_{T(B60)} = 3957 - 0,6 * (3957 - 2983) = 3372 \text{ mm}$$

**Regla 29:** sólo se aplica en buques de eslora inferior a 100 metros.

**Regla 30:** calculamos la corrección por coeficiente de bloque, esta solo se aplica si:

$$C_b > 0,68$$

$$Fb_{R30} = Fb_{T(B60)} * C1$$

$$C1 = \left( \frac{C_b + 0,68}{1,36} \right) = \left( \frac{0,897 + 0,68}{1,36} \right) = 1,1596$$

$$Fb_{R30} = Fb_{T(B60)} * C1 = 3372 * 1,1596 = 3910 \text{ mm}$$

**Regla 31:** calculamos la corrección por el puntal, solo se aplica si:

$$D > \frac{L}{15}$$

En nuestro caso:  $D = 21,57 > 16,36 = \frac{245,5}{15}$ , por lo tanto aplicamos:

$$Aumento = \left( D - \frac{L}{15} \right) * R$$

R toma el valor de 250 por ser nuestra eslora superior a 120m.

$$Aumento (C2) = \left( 21,57 - \frac{245,5}{15} \right) * 250 = 1301 \text{ mm}$$

**Regla 32:** no es de aplicación.

**Regla 33:** la única superestructura del Buque Proyecto es el castillo de proa. La altura de este es  $h_{\text{castillo}} = 3,6$  m. Para buques con  $L > 125$  m la altura normal es de  $h_{\text{castillo}} = 2,3$  m.



Como la altura del castillo de proa es mayor que la altura normal para esta eslora, y su manga es máxima, su longitud (S) es igual a la longitud efectiva de superestructura (E). Por lo tanto, en este caso:

$$E = S = 17,31 \text{ m}$$

**Regla 34:** corrección por superestructuras:

$$\text{Reducción} = De * \text{porcentaje}$$

“De” tendrá el valor de 1070mm por ser nuestra eslora superior a 122m

Entro con la relación de E/L en la tabla 37.1 del Convenio para obtener el porcentaje de reducción que aplicaremos al valor 1070mm.

E = Longitud efectiva de la superestructura, E = 17,31 m.

L = Eslora del buque, L = 245,5 m.

En nuestro caso solo consideraremos superestructura el castillo de proa, y para sacar el porcentaje de reducción correspondiente a la relación “E/L” interpolo entre 0 y 0,1\*L con los valores de la siguiente tabla:

E/L	% Reducción
0	0
0,0705	4,9
0,1	7

y obtengo que la reducción será de un 4,9%.

$$\text{Reducción (C3)} = 1070 * 0,049 = 53 \text{ mm}$$

**Regla 38:** Corrección por arrufo, debo aumentar el francobordo debido a que tengo un defecto en el arrufo:

$$\text{Aumento (C4)} = \left( 0,75 - \left( \frac{s'}{2 * L} \right) \right) * \text{variación de arrufo}$$

$$s' = \left( \frac{y * L'}{3 * L} \right)$$

y = diferencia entre la altura real y normal de la superestructura en la perpendicular de popa o de proa

L' = longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo

L = eslora del buque

La diferencia entre el arrufo considerado normal y el arrufo real de nuestro buque se calcula con las siguientes tablas. Como podemos observar, nuestro buque no tiene arrufo, por lo que en comparación con el arrufo normal obtenemos un defecto de arrufo que se debe compensar con un aumento del francobordo que calculamos a continuación de las tablas:

Standard Sheer Profile			
Station	Ordinate	Factor	Product
After perpendicular	2296	1	2296
1/6 L from A.P.	1019	3	3057
1/3 L from A.P.	257	3	771
Amidships	0	1	0
Amidships	0	1	0
1/3 L from A.P.	514	3	1542
1/6 L from A.P.	2039	3	6117
Forward perpendicular	4592	1	4592
			After Sheer 6124
			Forward Sheer 12251



Donde todos los valores son ya conocidos excepto:

$$d_i = 0,85 * D = 18,33 \text{ m}$$

$$C_{wf} = \text{coeficiente del \u00e1rea de la flotaci\u00f3n a proa de } L/2 = \left( \frac{A_{wf}}{L * B} \right) * 2$$

$A_{wf}$  = \u00e1rea de la mitad de proa de la flotaci\u00f3n “ $d_i$ ”, se obtiene extrayendo una l\u00ednea de agua por el calado “ $d_i$ ” del plano de formas del buque de la cual nos quedamos con la mitad de proa y calculamos el \u00e1rea de esta.

En nuestro caso mediremos esta \u00e1rea mediante AUTOCAD sobre el plano de formas finales del buque y para un calado de 18,33 m.

$$A_{wf} = 5066 \text{ m}^2$$

Sustituyendo este valor:

$$C_{wf} = \frac{5066}{245,5 * 42,4} * 2 = 0,973$$

Y a su vez sustituyendo el valor de  $C_{wf}$  en la f\u00f3rmula de la altura m\u00ednima a proa:

$$Fb_1 = \left[ 6075 * \left( \frac{245,4}{100} \right) - 1875 * \left( \frac{245,5}{100} \right)^2 + 200 * \left( \frac{245,5}{100} \right)^3 \right] * \left[ 2,08 + 0,609 * 0,897 - 1,603 * 0,973 - 0,0129 * \frac{245,5}{18,33} \right]$$

$$Fb_1 = 5875 \text{ mm}$$

La altura que tenemos en proa con el francobordo anteriormente calculado es:

$$h_{proa} = 3,6 + 5,957 = 9,557 \text{ m}$$

Entonces:

$$h_{proa} = 9,557 > Fb_1 = 5,875$$

Con esto queda comprobado que la altura m\u00ednima de proa no corrige nuestro francobordo.

Este francobordo calculado nos permite un calado de:

$$T_{Fb} = D - Fb_{R38} = 21,57 - 5,957 = 15,613 \text{ m}$$

### Correcci\u00f3n por estabilidad

Como hemos visto en el Cuaderno 5 al estudiar las condiciones de carga de nuestro Buque Proyecto, la condici\u00f3n en la que se alcanzar\u00e1 un calado medio mayor ser\u00e1 “Carga Homog\u00e9nea Salida Puerto”:

$$\Delta = 142687 \text{ Tn}$$

$$T_{cc} (\text{Calado Condici\u00f3n de Carga}) = 14,93 \text{ m}$$

Esto nos obliga a realizar una correcci\u00f3n por estabilidad, de valor:

$$\text{Correcci\u00f3n Estabilidad} = T_{Fb} - T_{CC} = 15,613 - 14,93 = 0,683 \text{ m} = 683 \text{ mm}$$

Por lo que el valor de francobordo queda finalmente en:

$$Fb_{final} = Fb_{R38} + \text{Correcci\u00f3n Estabilidad} = 5957 + 683 = 6640 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Fb_{final} = 6640 \text{ mm}}$$

En la siguiente tabla se recoge, a modo de resumen, todas las correcciones realizadas:

	FRANCOBORDO	COEF.	ADICIONES	REDUCCIONES
TABULAR	3957			
CORRECCIÓN B-60	3372			-585
CORRECCIÓN POR CB	3910	1,1596	538	
CORRECCIÓN POR PUNTAL	5211		1301	
CORRECCION POR SUPEREST.	5158			-53
CORRECCIÓN POR ARRUFO	5957		798	
CORRECCIÓN ALT. MIN. PROA	5957			
CORRECCIÓN POR ESTABILIDAD	6640		683	
<b>VERANO</b>	<b>6640</b>			

Por tanto, el calado de verano es:

$$T_{VERANO} = D - Fb_{VERANO} = 21,57 - 6,640 = 14,93 \text{ m}$$

Llegado a este punto tendríamos que realizar el estudio de averías del buque para comprobar que cumple una de las condiciones de la reducción B-60 que dice:

*“El buque, cuando esté cargado hasta su flotación en carga de verano, permanecerá a flote en condiciones satisfactorias de equilibrio después de inundarse un compartimento aislado cualquiera averiado, con una permeabilidad supuesta del 95%, excepto el espacio de máquinas.”*

Pero comprobamos que esta reducción queda totalmente compensada por la corrección por estabilidad:

Reducción por B-60:	- 585 mm
Aumento por estabilidad:	+ 683 mm

Por lo tanto, no es necesario estudiar la condición de averías de cualquier compartimento, porque a efectos finales es como si no la estuviésemos aplicando.

Pese a todo, esa corrección por estabilidad nos indica que nuestro barco podría calar del orden de medio metro más que la condición de máxima carga en cuanto a su reserva de flotabilidad se refiere, siempre y cuando cumplamos los requisitos para aplicar la ya mencionada reducción B-60.

Para finalizar con el cálculo del francobordo debemos calcular:

- Francobordo Tropical
- Francobordo de Invierno
- Francobordo del Atlántico Norte
- Francobordo de Agua Dulce

En cuanto al **francobordo tropical**, como no disponemos de ninguna codición de carga en la que el buque cale más que el calado de verano (calado correspondiente a la condición de máxima carga), no será posible realizar ninguna disminución de este francobordo, por lo que el francobordo tropical es igual a 6640 mm (francobordo de Verano).

El **francobordo de Invierno** lo calculamos mediante la siguiente expresión.

$$Fb_{INV} = Fb_{VERANO} + \frac{T_{VERANO}}{48} = 6640 + \frac{14930}{48} = 6951 \text{ mm}$$

El **francobordo del Atlántico Norte** para buques de eslora superior a 100 metros es el mismo que el de invierno, por lo tanto su valor será:

$$Fb_{AT.NORTE} = Fb_{INV} = 6951 \text{ mm}$$

Por último, el **francobordo de Agua Dulce** lo calculamos restándole al francobordo de Verano la siguiente cantidad:

$$Fb_{A.DULCE} = Fb_{VERANO} - \frac{\Delta}{40 * TCI}$$

Siendo:  $\Delta$  = desplazamiento en agua salada para el calado de verano

TCI = Toneladas por centímetro de inmersión (102,161 obtenido en el Cuaderno N°4)

$$Fb_{A.DULCE} = 6640 - \frac{142652}{40 * 10,2161} = 6640 - 349 = 6291 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla podemos ver de forma esquemática los distintos valores obtenidos:

<b>Fb Verano</b>	6640	mm
<b>Fb Tropical</b>	6640	mm
<b>Fb Invierno</b>	6951	mm
<b>Fb Atlántico Norte</b>	6951	mm
<b>Fb Agua Dulce</b>	6291	mm

### **3.3 Cálculo y comprobación mediante EXCEL**

Adjunto el documento de Excel empleado como plantilla para realizar el cálculo y posterior comprobación del cálculo manual:

**INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966/1988**

Moulded Breadth (B)	42,4 m	
Least Moulded Depth	21,55 m	
85% Least Moulded Depth		
Freeboard deck thickness at side	20 mm	
Freeboard Depth (D)	21,57 m	
Lenght of the waterline at 18,318 m of depth	250 m	
Lenght betw. Perp. at 18,318 m of depth	245,5 m	
Freeboard Lenght (L)	245,5 m	
Volume without appendages at 18,318 m of depth	171036 m <sup>3</sup>	L*B*T(18,275)*CB
Block coefficient	0,897	
Recess in freeboard deck, side to side, of <i>Upper line of the exposed deck is the freeboard deck</i>	0 m < 1m	

<b>R-27 Types of ships</b>	<i>Applicable</i>
----------------------------	-------------------

Type of ship (A,B,Br,B60) B

<b>R-28 Tabular Freeboard</b>	<i>Applicable</i>
-------------------------------	-------------------

<i>Table</i>	
<i>L</i>	<i>freeboard</i>

<i>L</i>	<i>freeboard</i>
----------	------------------

245	3949	245,5	3957	R-28	3957
246	3965				

**R-29 Correction for ships under 100 m in length** *Not Applicable*

Effective length of superstructure (E) 17,31 m  
 Length of trunks 0 m  
 Effective length of superstructure (E1) 17,31 m

R-29

**R-30 Correction for block coefficient** *Applicable*

R-28	3957				
R-29		Factor	1,1596		
freeboard	3957			R-30	632

**R-31 Correction for depth** *Applicable*

Enclosed superstructure length 17,31 m <0.6\*L  
 Height of superstructure 3,6 m  
 Standard Height 2,3 m

R 250 Standard Height correction 1  
 Correction 1301

R-31 1301

**R-32 Correction for position of deck line** *Not Applicable*

R-32



**R-32.1 Correction for recess in freeboard deck (not side to side)**

*Not Applicable*

Volume of the recess m<sup>3</sup>  
 Waterplane area at 18,318 m draft m<sup>2</sup>

R-32.1
--------

**R-33 Standard height of superstructure (in m)**

*Applicable*

<i>Raised quarterdeck</i>	<i>All Other superstructures</i>
1,8	2,3

**R-34/35 Effective length of superstructure (in m)**

*Applicable*

<i>Superstructure</i>	<i>Lenght (S)</i>	<i>Sup. br. (b)</i>	<i>Ship br. (Bs)</i>	<i>Height</i>	<i>Effective Lenght ( E )</i>
Forecastle	17,310	42,400	42,400	3,600	17,310
<i>center</i>					
Poop	0,000	0,000	38,020	2,300	

<i>Raised quarterdeck</i>	<i>Lenght (S)</i>	<i>Sup. br. (b)</i>	<i>Ship br. (Bs)</i>	<i>Height</i>	<i>Effective Lenght ( E )</i>

**R-36 Effective length of trunks (in m)**

*Applicable*

<i>Trunk</i>	<i>Lenght (S)</i>	<i>Sup. br. (b)</i>	<i>Ship br. (Bs)</i>	<i>Height</i>	<i>Effective Lenght ( E )</i>
Centre	0,000	0,000	18,800	2,300	





Extension in midships of superstructures (over L) 0 \*L

Factor 0,7147 Correction 799 mm

Freeboard correction 799 mm

R-38	799
------	-----

<b>R-39.1 Minimum bow height</b>	<i>Applicable</i>
----------------------------------	-------------------

Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (A<sub>wf</sub>) 4675,00 m<sup>2</sup>

L	245,5	d1	18,318
B	42,4	Cb	0,897
		C <sub>wf</sub>	0,8982

Minimum bow height (F<sub>b</sub>) 6662 mm

Bow depth corrected for R39	25,1	m
Minimum bow height freeboard	3132	mm
Salt water freeboard	6636	mm

R-39.1	0
--------	---

<b>R-39.2 Reserve of bouyancy</b>	<i>Applicable</i>
-----------------------------------	-------------------

F0	3957	mm
f1	1,1596	
f2	1301	mm
f <sub>min</sub>	5890	mm

Minimum projected area	307,08	m <sup>2</sup>
Actual projected area	306,00	m <sup>2</sup>
Freeboard correction	0	mm

R-39.2	0
--------	---

<b>R-40 Minimum freeboards</b>	<i>Applicable</i>
--------------------------------	-------------------

Minimum freeboard without R-32

50 mm

R-28	3957 mm
R-29	mm
R-30	632 mm
R-31	1301 mm
R-32.1	mm
R-37	-53 mm
R-38	799 mm
<b>Sum</b>	<b>6636 mm</b>

Freeboard in Salt Water 6636 mm

<i>Minimum Summer Freeboard</i>	<i>6636 mm</i>
<i>Maximum Summer Draught</i>	<i>14934 mm</i>

Maximum Scantling Draught 15000 mm  
 Maximum Stability Draught 14930 mm

R-39.1	0 mm
R-39.2	0 mm
<b>Sum</b>	<b>6636 mm</b>

<b>Summer Freeboard</b>	<b>6640 mm</b>
<b>Summer Draught</b>	<b>14930 mm</b>
<b>Tropical Freeboard</b>	<b>6640 mm</b>
<b>Winter Freeboard</b>	<b>6952 mm</b>
<b>Winter N. Atlantic Freeboard</b>	<b>6952 mm</b>
<b>Fresh Water</b>	<b>6287 mm</b>

R-32	0 mm
------	------

Displacement at 14,93 m 142652 ton  
 TPCM at 14,93 m 10,2161 ton/cm

## 4 ARQUEO

Realizaremos el cálculo del Arqueo del buque según el “Convenio Internacional Sobre Arqueo De Buques de 1969”.

El arqueo mide la capacidad volumétrica del buque por lo que se define como arqueo bruto al volumen total de un buque, mientras que el arqueo neto es la expresión de la capacidad utilizable de un buque, en este caso los espacios de carga.

### 4.1 Arqueo Bruto

En la regla 3 del convenio anteriormente citado obtenemos que el arqueo bruto de un buque (GT) se calcula aplicando la siguiente fórmula:

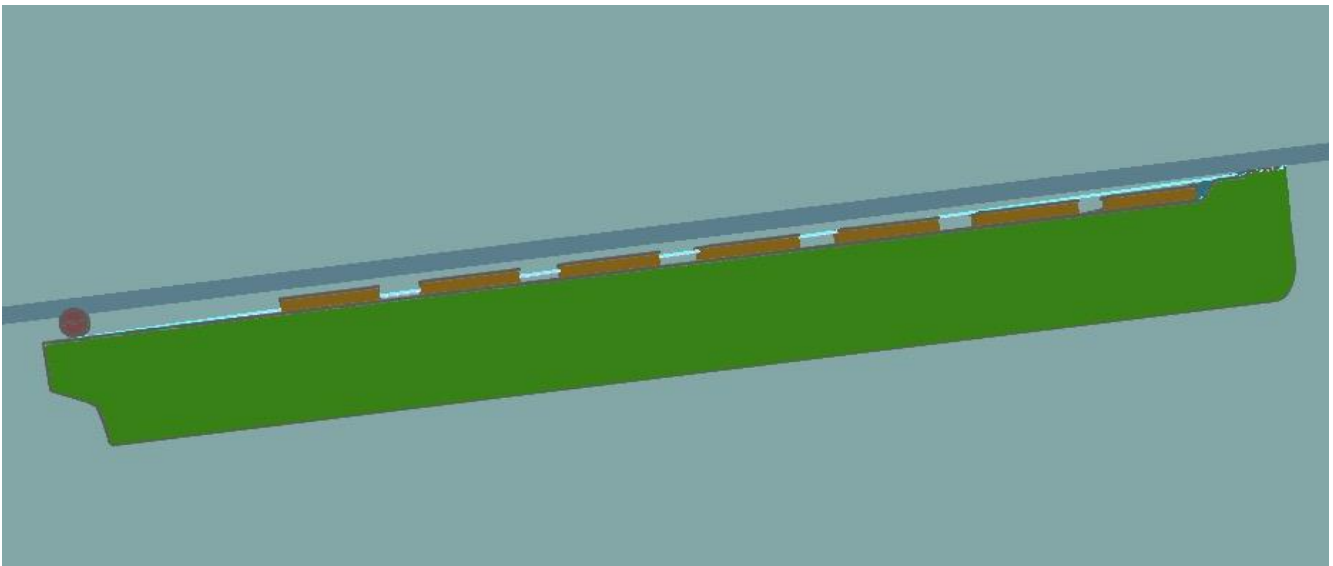
$$GT = K_1 * V$$

donde:

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

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

El volumen interno del casco lo hemos calculado mediante el software de arquitectura naval “Maxsurf” estudiando las hidrostáticas para un calado que sumerga el volumen completo del buque (28 metros en nuestro caso), así a partir del desplazamiento obtenido podremos saber el volumen total del casco. A continuación se muestra la salida de hidrostáticas que consigue sumergir el buque en su totalidad, como vemos en la imagen:



<b>Displacement t</b>	<b>223279</b>
Heel deg	0
Draft at FP m	28
Draft at AP m	28
Draft at LCF m	28
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	0
Beam max extents on WL m	0
Wetted Area m <sup>2</sup>	30696,55
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	0
Prismatic coeff. (Cp)	0,858
Block coeff. (Cb)	0
Max Sect. area coeff. (Cm)	0
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0
Immersion (TPc) tonne/cm	0
MTc tonne.m	-28,412
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	-12173,326
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

$$V_{CASCO} = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{223279}{1,025} = 217833 \text{ m}^3$$

El volumen de los espacios de habitación lo hemos obtenido a partir de las medidas fijadas para cada cubierta de la superestructura en el Cuaderno 7, obteniendo así:

SUPERESTRUCTURA				
	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	V (m <sup>3</sup> )
Nivel 1	21,64	23,8	3,6	1854
Nivel 2	21,64	23,8	2,9	1494
Nivel 3	6,8	23,8	2,9	469
Nivel 4	6,8	23,8	2,9	469
Nivel 5	6,8	23,8	2,9	469
Puente	6,8	23,8	2,9	469
VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> )				5225

CASCO	217833	m <sup>3</sup>
SUPERESTRUCTURA	5225	m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>223058</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

$$K_1 = 0,2 + 0,02 * \log_{10}(223058) = 0,3070$$

$$GT = 0,3070 * 223058 = 68 472$$

$$GT = 68 472 GT$$

## 4.2 Arqueo Neto

El arqueo neto lo calculamos mediante la siguiente expresión:

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

donde:

$$K_2 = 0,2 + 0,02 * \log_{10}(V_c)$$

$V_c$  = Volumen de los espacios de carga

$D$  = puntal de trazado (21,57 m)

$d$  = calado en la condición de máximo calado (14,93 m)

$$K_3 = 1,25 * (GT + 10000)/10000$$

$N_1$  = número de pasajeros en camarotes de menos de 8 literas = 0

$N_2$  = número de pasajeros que el buque está autorizado a llevar = 0

Además se debe verificar que:

$$\left(\frac{4 * d}{3 * D}\right)^2 < 1$$

$$K_2 V_c \left(\frac{4 * d}{3 * D}\right)^2 > 0,25 * GT$$

Comenzamos obteniendo el volumen de los espacios de carga ( $V_c$ ) a partir de los volúmenes obtenidos mediante el software Maxsurf para cada una de nuestras bodegas:

Bodega N1	16131 m <sup>3</sup>
Bodega N2	20740 m <sup>3</sup>
Bodega N3	20740 m <sup>3</sup>
Bodega N4	20740 m <sup>3</sup>
Bodega N5	20740 m <sup>3</sup>
Bodega N6	20740 m <sup>3</sup>
Bodega N7	20332 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL CARGA</b>	<b>140163 m<sup>3</sup></b>

Una vez calculado el volumen total de carga de nuestro Buque Proyecto procedemos a comprobar que cumplimos los dos criterios fijados:

$$\left(\frac{4 * d}{3 * D}\right)^2 < 1 \rightarrow \left(\frac{4 * 14,93}{3 * 21,57}\right)^2 = 0,8517 < 1 \text{ OK}$$

$$K_2 V_c \left(\frac{4 * d}{3 * D}\right)^2 > 0,25 * GT \rightarrow 0,3029 * 140163 \left(\frac{4 * 14,93}{3 * 21,57}\right)^2 = 36160 > 16010 \text{ OK}$$



Al ser  $N_1$  y  $N_2$  nulos el valor del Arqueo Neto coincide con este último valor, por lo tanto el Arqueo Neto será:

$$NT = 0,3029 * 140163 \left( \frac{4 * 14,93}{3 * 21,57} \right)^2 + K_3 * \left( 0 + \frac{0}{10} \right) = 36160$$

$$NT = 36160$$

Y, efectivamente, el valor del Arqueo Neto es ampliamente mayor que  $\frac{1}{4}$  del Arqueo Bruto.