



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2019/20

Buque Portacontenedores Postpanamax 11000 TEUS

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Manuel García Pensado

TUTORAS/ES

Marcos Míguez González

FECHA

SEPTIEMBRE 2020

Resumen

En este trabajo se va a desarrollar el proyecto de un buque portacontenedores postpanamax con capacidad para 11000 TEUS.

Nuestro buque estará propulsado por un motor diésel directamente acoplado y dispondrá de generación eléctrica de gas en zonas portuarias con el fin de reducir la contaminación.

La tripulación estará formada por un total de 30 tripulantes y todos ellos dispondrán de camarotes individuales.

El buque no contará con sistemas de carga y descarga propios, a excepción de una pequeña grúa para el abastecimiento de víveres.

En sus cubiertas se dispondrán dos TEUS en sentido longitudinal, o un FEU si fuera el caso, porque las guías de nuestro buque estarán adaptadas a dicho propósito.

Resumo

Neste traballo irase desenvolvendo o proxecto dun buque portacontenedores postpanamax con capacidade para 11000 TEU's.

O noso buque estará propulsado por un motor diésel directamente acoplado e disporá de xeración eléctrica de gas en zonas portuarias coa fin de reducir a contaminación.

A tripulación estará formada por un total de 30 tripulantes e todos eles disporán de camarotes individuais.

O buque non contará con sistemas de carga e descarga propios, a excepción dunha pequena grúa para o abastecemento de viveres.

Nas súas cubertas disporanse os TEU's en sentido lonxitudinal, ou un FEU se fora o caso, porque as guías do noso buque estarán adaptadas a dito propósito.

Summary

In this work, the project of a post-Panamax container ship with capacity for 11000 TEUS will be developed.

Our ship will be powered by a directly coupled diesel engine and will have electric gas generation in port areas in order to reduce pollution.

The crew will be available for a total of 30 crew members and all of them will have individual cabins.

The ship does not have its own loading and unloading systems, with the exception of a small crane for supplying food.

On its decks two TEUS will be arranged longitudinally, or in FEU if applicable, because the guides of our ship are adapted to this purpose.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

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

*Buque Portacontenedores Postpanamax 11000
TEUS*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

CUADERNO 9: FRANCOBORDO Y ARQUEO



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.019-2020

PROYECTO NÚMERO 192024

TIPO DE BUQUE: BUQUE PORTACONTENEDORES POSTPANAMAX

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV-GL, SOLAS Y MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 11000 TEUS

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: Velocidad servicio 20 kn, 85% MCR, 10%MM, 14.000 millas de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: SIN GRUAS

PROPULSIÓN: Motor diésel directamente acoplado, Generación eléctrica a Gas en zonas portuarias

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: LOS HABITUALES EN ESTE TIPO DE BUQUE

Ferrol, 12 Setiembre 2020

ALUMNO/A: **D^a MANUEL GARCÍA PENSADO**

Tabla de contenido

1	Introducción	6
2	Cálculo de francobordo	7
2.1	Correcciones por eslora menor a 100 m	11
2.2	Corrección por coeficiente de bloque	12
2.3	Corrección por puntal.....	12
2.4	Corrección por superestructuras	12
2.5	Corrección por arrufo	14
2.6	Líneas de carga	16
3	Arqueo	19
3.1	Arqueo bruto	19
3.2	Arqueo neto	19

1 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno realizaremos el cálculo del francobordo para nuestro buque, donde emplearemos el “Convenio Internacional sobre Líneas de carga de 1966 y Protocolo de 1988”. Además, se realizarán los cálculos referentes al arqueo bruto y neto siguiendo las directrices del “Convenio Internacional sobre Arqueo de buques, 1969”.

En primer lugar, recordemos que las dimensiones de nuestro buque obtenidas en cuadernos anteriores son:

Dimensiones	
L_{oa}	342,62 m
L_{PP}	326 m
B	47 m
D	28 m
T	16 m
C_B	0,671
Δ	172205 t
F_N	0,1817
C_M	0,992
C_P	0,677
C_F	0,827
Velocidad	20 nudos
TEU's totales	11000
TEU's cubierta	6168
TEU's bodega	4840
Tripulación	30

2 CÁLCULO DE FRANCOBORDO

En este apartado se realizará una estimación del francobordo del buque en base a un cálculo simplificado empleando el “Convenio internacional de líneas de carga de 1966 y protocolo de 1988”, con el objetivo de cerciorarnos de que cumplimos con la reserva mínima de flotabilidad.

El primer paso será definir el tipo de buque según el convenio, donde se especifican dos tipos:

CAPÍTULO III. FRANCOBORDOS

Regla 27. Tipos de buques

- 1) Para el cálculo del francobordo los buques se dividirán en dos tipos: 'A' y 'B'.

Buques de tipo 'A'

- 2) Buque de tipo 'A' será el que:
 - a) haya sido proyectado para transportar solamente cargas líquidas a granel;
 - b) tenga una gran integridad en la cubierta expuesta y sólo pequeñas aberturas de acceso a los compartimientos de carga, cerradas por tapas de acero u otro material equivalente, estancas y dotadas de frisas; y
 - c) tenga baja permeabilidad de los espacios de carga llenos.
- 3) Un buque de tipo 'A' de eslora superior a 150 m al que se haya asignado un francobordo inferior al de los buques de tipo 'B', cuando esté cargado de acuerdo con las prescripciones del párrafo 11) habrá de poder soportar la inundación sufrida en uno o varios compartimientos cualesquiera, de una permeabilidad supuesta de 0,95, a raíz de las averías hipotéticas que se especifican en el párrafo 12), y permanecer a flote en un estado de equilibrio satisfactorio que se ajuste a lo especificado en el párrafo 13). En tal buque, el espacio de máquinas se considerará como compartimiento inundable, pero con una permeabilidad de 0,85.
- 4) A los buques de tipo 'A' se les asignarán francobordos no inferiores a los basados en la tabla 28.1.

Buques de tipo 'B'

5) Los buques que no se ajusten a lo dispuesto para los buques de tipo 'A' en los párrafos 2) y 3) se considerarán buques de tipo 'B'.

6) A los buques de tipo 'B' que en emplazamientos de clase 1 lleven tapas de escotilla que la Administración permita que cumplan lo prescrito en la regla 15 (con excepción de lo prescrito en el párrafo 6), o que estén provistos de medios para asegurar la estanquidad a la intemperie aceptados con arreglo a las disposiciones de la regla 16 6), se les asignarán francobordos basados en los valores que figuran en la tabla 28.2, aumentados en los valores indicados en la tabla 27.1:

Tabla 27.1

En el caso de nuestro buque, según el reglamento se enmarcará en buque tipo B.

A continuación, debemos establecer las dimensiones principales del buque para los cálculos como se establece en la Regla 3:

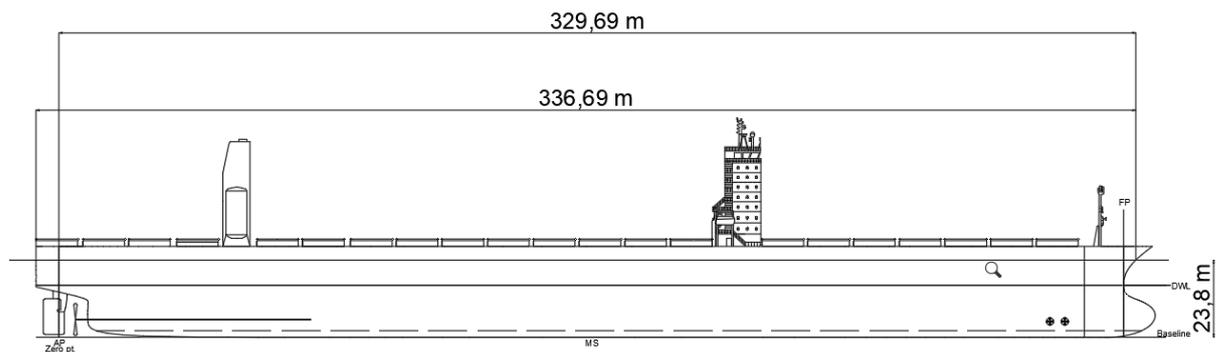
Regla 3. Definiciones de los términos usados en los anexos1) *Eslora*

- a) Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia al canto alto de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado, 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.
- b) En los buques sin mecha de timón, se tomará como eslora (L) el 96% de la flotación correspondiente al 85% del puntal mínimo de trazado.

En nuestro caso, el puntal total es de 28 m, por lo que la flotación al 85% del puntal será de 23,8 m. Las hidrostáticas a dicho calado se calcularán mediante el programa Maxsurf Stability y se muestran a continuación:

Draft Amidships m	23,800
Displacement t	283542
Heel deg	0,0
Draft at FP m	23,800
Draft at AP m	23,800
Draft at LCF m	23,800
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	336,671
Beam max extents on WL m	47,000
Wetted Area m ²	26793,004
Waterpl. Area m ²	14656,903

Prismatic coeff. (Cp)	0,739
Block coeff. (Cb)	0,735
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,995
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,926
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	151,252
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	150,415
KB m	13,047
KG m	16,000
BMt m	8,951
BML m	451,038
GMt m	5,998
GML m	448,085
KMt m	21,998
KML m	464,085
Immersion (TPc) tonne/cm	150,233
MTc tonne.m	3897,186
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	29682,981
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000



L = 336,67 m

4) *Manga*. A menos que se indique expresamente otra cosa, la manga (B) será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo 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.

La manga máxima del buque es de 47 m, por lo que la manga de francobordo será:

B = 47 m

6) *Puntal de francobordo (D)*

- a) El puntal de francobordo (D) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.
- b) El puntal de francobordo (D) en un buque con trancañil redondeado de radio superior al 4% de la manga (B) o en el que la parte alta de los costados tenga una forma fuera de lo normal, será el puntal de francobordo correspondiente a un buque que tuviera una cuaderna maestra con costados verticales en la obra muerta y con la misma brusa del bao, y el área transversal de la parte superior igual a la correspondiente a la cuaderna maestra del buque real.

7) *Coficiente de bloque*

- a) El coeficiente de bloque (C_b) vendrá dado por la fórmula:

$$C_b = \frac{\nabla}{LBd_1}$$

donde:

∇ será el volumen del desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, en un buque con forro metálico, y el volumen de desplazamiento de la superficie exterior del casco en los buques con forro de cualquier otro material, ambos tomados a un calado de trazado d_1 ; siendo

d_1 el 85% del puntal mínimo de trazado.

- b) Para calcular el coeficiente de bloque de una nave multicasco, se utilizará la manga máxima (B) definida en el párrafo 4), y no la manga de un solo casco.

En cuanto al puntal de francobordo el valor que utilizaremos será el del puntal de nuestro buque, dado que todavía desconocemos los espesores de las chapas en esta fase inicial de trabajo. Por tanto, el puntal de francobordo será:

$$D = 28 \text{ m}$$

Por lo tanto, el valor del coeficiente de bloque será el siguiente:

$$C_b = \frac{\nabla}{L \times B \times D}$$

$$C_B = 0,735$$

El volumen de carena lo obtendremos de la siguiente manera $\Delta = \rho \nabla$, con lo que para $\Delta = 283542 \text{ t}$, el volumen de carena será:

$$\nabla = 276626 \text{ m}^3$$

El siguiente paso será comprobar qué francobordo tabular le corresponde a nuestro buque según su eslora, que recordemos era de $L = 336,67 \text{ m}$. Tomaremos el francobordo tabular para una eslora de 337 m .

Para ello consultaremos la Tabla 28.2 del reglamento correspondiente a los buques tipo B.

Tabla 28.2

Tabla de francobordo para buques de tipo 'B' (Continuación)

Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)
282	4420	310	4736	338	5035
283	4432	311	4748	339	5045
284	4443	312	4757	340	5055
285	4455	313	4768	341	5065
286	4467	314	4779	342	5075
287	4478	315	4790	343	5086
288	4490	316	4801	344	5097
289	4502	317	4812	345	5108
290	4513	318	4823	346	5119
291	4525	319	4834	347	5130
292	4537	320	4844	348	5140
293	4548	321	4855	349	5150
294	4560	322	4866	350	5160
295	4572	323	4878	351	5170
296	4583	324	4890	352	5180
297	4595	325	4899	353	5190
298	4607	326	4909	354	5200
299	4618	327	4920	355	5210
300	4630	328	4931	356	5220
301	4642	329	4943	357	5230
302	4654	330	4955	358	5240
303	4665	331	4965	359	5250
304	4676	332	4975	360	5260
305	4686	333	4985	361	5268
306	4695	334	4995	362	5276
307	4704	335	5005	363	5285
308	4714	336	5015	364	5294
309	4725	337	5025	365	5303

El francobordo tabular en nuestro caso será de **5025 mm**.

2.1 Correcciones por eslora menor a 100 m

Regla 29. Corrección al francobordo para buques de eslora inferior a 100 m

El francobordo tabular para buques de tipo 'B', de eslora comprendida entre 24 m y 100 m con superestructuras cerradas de una longitud efectiva de hasta el 35% de la eslora, se incrementará en la siguiente cantidad:

$$7,5(100 - L) \left(0,35 - \frac{E_L}{L} \right) \quad \text{mm}$$

No se aplica ya que nuestro buque tiene una eslora superior a 100 metros.

$$C1 = 0$$

2.2 Corrección por coeficiente de bloque

Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque

Cuando el coeficiente de bloque (C_b) sea superior a 0,68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, después de ser modificado, si procede, por las reglas 27 8), 27 10) y 29, se multiplicará por el factor.

$$\frac{C_b + 0,68}{1,36}$$

El coeficiente de bloque no se supondrá superior a 1,0.

Recordemos que el $C_B = 0,735$, por lo que aplicaremos corrección por coeficiente de bloque.

$$C2 = \frac{Cb + 0,68}{1,36} = 1,04$$

2.3 Corrección por puntal

La corrección por puntal no indica lo siguiente:

Regla 31. Corrección por puntal

- 1) Cuando D exceda de $L/15$, el francobordo se aumentará en $\left(D - \frac{L}{15}\right) R$, mm, siendo $R = \frac{L}{0,48}$ para esloras inferiores a 120 m y 250 para esloras de 120 m o mayores.
- 2) Cuando D sea menor que $L/15$ no se hará reducción alguna, excepto en buques con superestructuras cerradas que cubran al menos una longitud igual a $0,6L$ en el centro del buque, o bien con un tronco completo, o una combinación de superestructuras cerradas separadas y troncos que se extiendan de manera continua de proa a popa, en cuyo caso el francobordo se reducirá en la proporción prescrita en el párrafo 1).
- 3) Cuando la altura de la superestructura o del tronco sea inferior a la normal que corresponda, la reducción calculada se corregirá con la relación entre la altura real de la superestructura o del tronco y la altura normal aplicable definida en la regla 33.

El valor de $L/15$ es de 22,47 m. Recordemos que nuestro puntal tiene un valor de 28 m, por lo que excede el valor de $L/15$ y deberemos de aplicar corrección por puntal.

La corrección que aplicaremos será $\left(D - \frac{L}{15}\right) \times R$, donde R vale 250 para esloras superiores a 120 m, como es nuestro caso.

Es decir, la corrección por puntal será **C3 = 1383 mm**.

2.4 Corrección por superestructuras

En primer lugar, definiremos lo que el reglamento considera como superestructura.

10) *Superestructura*

- a) Una superestructura será una construcción provista de techo y 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 (B).
- b) Una superestructura cerrada será aquella:
 - i) que tenga mamparos de cierre de construcción eficiente;
 - ii) cuyas aberturas de acceso, si existen en estos mamparos, estén provistas de puertas que satisfagan las prescripciones de la regla 12;
 - iii) en la que todas las demás aberturas, en los costados o en los extremos de la superestructura, estén dotadas de medios eficientes de cierre, estancos a la intemperie.

Por otra parte, un puente o una toldilla no se considerarán superestructuras cerradas, a menos que estén dotados de acceso para que la tripulación, a partir de cualquier punto de la cubierta completa expuesta más alta, o desde un punto más alto, pueda llegar a la maquinaria y demás lugares de trabajo situados en el interior de estas superestructuras, por otros medios que puedan utilizarse en todo momento cuando estén cerradas las aberturas de los mamparos.

- c) La altura de una superestructura será la altura mínima vertical medida en el costado desde el canto alto de los baos de la cubierta de la superestructura hasta el canto alto de los baos de la cubierta de francobordo.
- d) La longitud de una superestructura (S) será la longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L).
- e) Puente. El puente será una superestructura que no se extienda hasta la perpendicular de proa, ni tampoco hasta la perpendicular de popa.
- f) Toldilla. La toldilla será una superestructura que se extienda en dirección a proa desde la perpendicular de popa hasta un punto situado a popa de la perpendicular de proa. La toldilla puede empezar un punto que se encuentre a popa de la perpendicular de popa.
- g) Castillo de proa. El castillo de proa será una superestructura que se extienda en dirección a popa desde la perpendicular de proa hasta un punto a proa de la perpendicular de popa. El castillo de proa podrá comenzar en un punto que se encuentre a proa de la perpendicular de proa.
- h) Superestructura completa. Una superestructura completa será aquella que se extienda como mínimo desde la perpendicular de proa a la de popa.
- i) Cubierta de saltillo. La cubierta de saltillo será una superestructura que se extienda hacia proa desde la perpendicular de popa, que por lo general tenga una altura inferior a la de una superestructura normal y que disponga de un mamparo proel intacto (portillos fijos

con ojos de buey eficientes y tapas de registro empernadas) (véase la figura 3.4). Cuando el mamparo proel no esté intacto por incluir puertas y aberturas de acceso, la superestructura se considerará una toldilla.

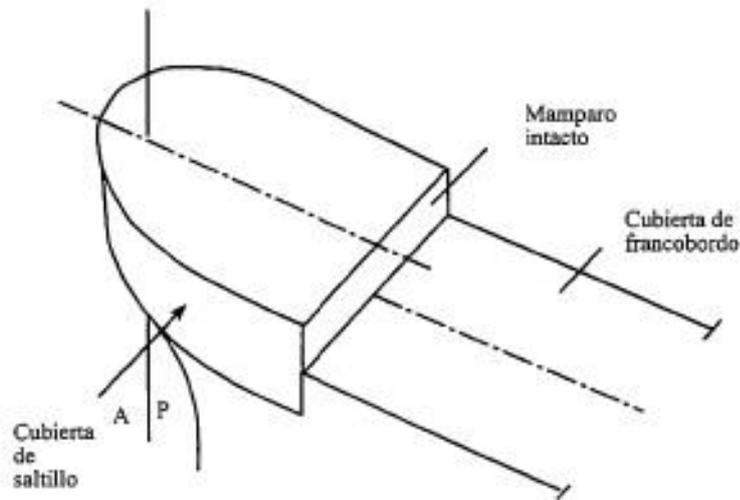


Figura 3.4

Se consideran superestructuras aquellas estructuras sobre la cubierta principal cuyos extremos distan de babor y estribor menos de un 4% de la manga.

En nuestro buque las superestructuras que disponemos no cumplen con tales requisitos, por lo que no tendremos corrección alguna por superestructuras.

$$C4 = 0$$

2.5 Corrección por arrufo

El reglamento establece en la Regla 38 una corrección por arrufo, así como su proceso de cálculo que seguiremos a continuación.

Nuestro buque no presenta arrufo, por lo tanto, el cálculo de la corrección por arrufo lo realizaremos de la siguiente manera.

Curva de arrufo normal

8) Las ordenadas de la curva de arrufo normal se dan en la tabla siguiente:

Tabla 38.1.
Curva de arrufo normal
(L en m)

	Situación	Ordenada (en mm)	Factor
Mitad de popa	Perpendicular de popa	25 (L/3+10)	1
	1/6 L desde la P. de Pp.	11,1(L/3+10)	3
	1/3 L desde la P. de Pp.	2,8 (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 (L/3+10)	3
	1/6 L desde la P. de Pr.	22,2(L/3+10)	3
	Perpendicular de proa	50 (L/3+10)	1

POSICIÓN	FACTOR	NORMAL	REAL	NORMAL X FACTOR	REAL X FACTOR
<i>P_{PP}</i>	1	3058,33	0	3058,33	0
<i>1/6</i>	3	1357,86	0	4073,6	0
<i>1/3</i>	3	342,52	0	1027,56	0
<i>0</i>	1	0	0	0	0
<i>0</i>	1	0	0	0	0
<i>1/3</i>	3	685	0	2055	0
<i>1/6</i>	3	2715,72	0	8147,16	0
<i>P_{PR}</i>	1	6116,5	0	6116,5	0

$$\Sigma \text{Normal Popa} = 8159,5$$

$$\Sigma \text{Normal Proa} = 16318,66$$

$$\Sigma \text{Real Popa} = 0$$

$$\Sigma \text{Real Proa} = 0$$

$$\text{Exceso/Defecto popa} = (\Sigma \text{Real Popa} - \Sigma \text{Normal Popa})/8 = -1019,93$$

$$\text{Exceso/Defecto proa} = (\Sigma \text{Real Proa} - \Sigma \text{Normal Proa})/8 = -2039,83$$

$$\text{Exceso/Defecto Arrufo} = \frac{\left(\frac{\text{Exceso}}{\text{Defecto}}\right)_{\text{popa}} + \left(\frac{\text{Exceso}}{\text{Defecto}}\right)_{\text{proa}}}{2} = -1529,88 \text{ mm}$$

Finalmente, la corrección por arrufo será el producto de la diferencia de los arrufos normal y real por el termino $(0,75 - \frac{S}{2 \times L})$

$$C5 (defecto) = 1530 \times \left(0,75 - \frac{S}{2 \times L}\right) = 1530 \times \left(0,75 - \frac{0}{2 \times 337}\right)$$

$$C5 (defecto) = 1147,5 \text{ mm}$$

2.6 Líneas de carga

Una vez obtenidas las correcciones, podremos realizar las operaciones y obtener las líneas de carga para nuestro buque proyecto. A continuación, exponemos los distintos calados máximos marcados por el convenio para las distintas situaciones y épocas del año.

$$FB_{Verano} = 5,025 \times 1,04 + 1,383 + 0 + 1,1475 = 7,7565 \text{ m} = 7756,5 \text{ mm}$$

Este francobordo se corresponde con el francobordo de verano de nuestro buque y, sabiendo que el puntal es de 28 m, el calado lo podemos obtener de la siguiente manera:

$$d = D_F - FB_{VERANO} = 20,24 \text{ m} = 20240 \text{ mm}$$

Para los diferentes calados aplicaremos la expresión propuesta por el reglamento:

- Francobordo de invierno

$$FB_{Invierno} = FB_{Verano} + \frac{d}{48} = 7756 + \frac{20243}{48} = 8177,7 \text{ mm}$$

$$T_I = D_F - FB_{INVIERNO} = 19822 \text{ mm}$$

- Francobordo tropical

$$FB_{Tropical} = FB_{Verano} - \frac{d}{48} = 7756 - \frac{20243}{48} = 7334 \text{ mm}$$

$$T_T = D_F - FB_{TROPICAL} = 20665 \text{ mm}$$

- Francobordo de invierno en el atlántico norte: será igual al francobordo de invierno siempre y cuando el buque supere los 100 m de eslora.

$$FB_{Atl.Norte} = FB_{Invierno} = FB_{Verano} + \frac{d}{48} = 7756 + \frac{20243}{48} = 8177,7 \text{ mm}$$

$$T_{AN} = D_F - FB_{AN} = 19822 \text{ m}$$

- Francobordo en agua dulce

$$FB_{A.Dulce} = FB_{Verano} - \frac{\Delta}{40 \times T}$$

Donde “ Δ ” y “T” son el desplazamiento y toneladas por centímetro de inmersión de nuestro buque para el calado de verano. Utilizando el “Maxsurf Stability” obtenemos todos los datos necesarios para el cálculo mediante la función “Upright Hydrostatics”:

Draft Amidships m	20,24 m
Displacement t	231151
Heel deg	0
Draft at FP m	20,24
Draft at AP m	20,24
Draft at LCF m	20,24
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	333,897
Beam max extents on WL m	47
Wetted Area m ²	24014,986
Waterpl. Area m ²	14052,078
Prismatic coeff. (Cp)	0,715
Block coeff. (Cb)	0,71
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,994
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,895
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	152,077
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	144,705
KB m	11,01
KG m	16
BMt m	10,289
BML m	498,316
GMt m	5,299
GML m	493,326
KMt m	21,299
KML m	509,326
Immersion (TPc) tonne/cm	144,034
MTc tonne.m	3497,859
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	21375,706
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Como podemos apreciar en las hidrostáticas al calado de verano (20,24 m) de nuestro buque, los valores para el desplazamiento y las toneladas por centímetro de inmersión son:

- $\Delta = 231151$ t
- $T = 144,034$ t/cm = 14,40 t/mm

El francobordo mínimo en agua dulce para nuestro buque será el siguiente:

$$FB_{A.Dulce} = 7756,5 - \frac{231151}{40 \times 14,4034} = 7355,2 \text{ mm}$$

$$T_{AD} = D_F - FB_{AD} = 20644,8 \text{ m}$$

En la siguiente tabla resumen podemos comprobar los diferentes calados y francobordos de nuestro buque:

	Francobordo (mm)	Calado (mm)
<i>Verano</i>	7756,5	20240
<i>Invierno</i>	8177,7	19822
<i>Invierno Atlántico Norte</i>	7334	20665
<i>Tropical</i>	8177,7	19822
<i>Agua Dulce</i>	7355,2	20644,8

En el cuaderno 5 comprobamos las condiciones de carga a las cuales navegará nuestro buque, y la mas desfavorable es la de plana carga en salida de puerto con un calado de 15,247 m. Con lo cual, comprobamos que nuestro buque no presenta problemas de calado ante la situación más desfavorable.

Por último, cabe destacar que el estudio de la estabilidad se ha realizado para las condiciones de carga donde no se superan los 15,247 m, con lo que aplicaremos una corrección por estabilidad, fijando nuestro calado de verano en 15,247 m. Los calados y francobordos finales serán:

	Francobordo (mm)	Calado (mm)
<i>Verano</i>	12750	15251
<i>Invierno</i>	13171	14829
<i>Invierno Atlántico Norte</i>	12327	15673
<i>Tropical</i>	13171	14829
<i>Agua Dulce</i>	12348	15652

3 ARQUEO

En este apartado realizaremos el cálculo del arqueo, que nos dará idea del tamaño de nuestro buque, a partir de lo dispuesto en el “Convenio Internacional sobre Líneas de carga de 1996 y Protocolo del 1988”.

3.1 Arqueo bruto

La fórmula para el arqueo bruto es la siguiente:

$$GT = K_1 \times V$$

Donde:

- V: volumen total de los espacios cerrados del buque (m³).
V = 349653,8 m³
- K₁ = 0,2 + 0,02 x log₁₀ (V) = 0,2 + 0,02 x log₁₀(349653,8) = 0,31

$$GT = 0,31 \times 349653,8 = \mathbf{108697,8}$$

3.2 Arqueo neto

El arqueo neto lo obtendremos mediante la siguiente formulación:

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

Donde:

- K₂ = 0,2 + 0,02 x log₁₀ (V_{CARGA}) = 0,2 + 0,02 x log₁₀ (219245) = 0,3
- d: caldo de verano. d = 12,75 m
- D: puntal de trazado. D = 28 m
- K₃ = 1,25 x $\frac{GT \times 10000}{10000}$ = 1,25 x $\frac{108697,8 \times 10000}{10000}$ = 135871,25
- N₁ = número de pasajeros en camarotes que tengan más de 8 literas.
- N₂ = número del resto de pasajeros

Teniendo en cuenta:

- $\left(\frac{4 \times d}{3 \times D}\right)^2 \leq 1$
- $K_2 \times V_{carga} \times \left(\frac{4 \times d}{3 \times D}\right)^2 \leq 0,25 \times GT$
- $NT \geq 0,30 \times GT$
- N₁ y N₂ = 0; buque donde no hay pasajeros, solo tripulación.

La capacidad de las bodegas se muestra en la siguiente tabla:

Bodega	Capacidad (m³)
1	6760
2	7800
3	7800
4	2600
5	13520
6	13520
7	13520
8	13520
9	13520
10	13520
11	13520
12	13520
13	13520
14	13520
15	13520
16	13520
17	10920
18	8840
19	6825
20	5460
TOTAL	219245

$$NT = 0,3 \times 219245 \times \left(\frac{4 \times 12,75}{3 \times 28}\right)^2 + 135871,25 \times \left(0 + \frac{0}{10}\right)$$

$$NT = 24245,6$$

Resultados del arqueo:

$$GT = 108697,8$$

$$NT = 24245,6$$