



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2021/22

BUQUE PORTACONTENEDORES
16000 TEUs

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Javier García Ávila

TUTORAS/ES

Alicia Munín Doce

FECHA

Septiembre 2022



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

*BUQUE PORTACONTENEDORES
16000 TEUs*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

**CUADERNO 9.
FRANCOBORDO Y ARQUEO**



TIPO DE BUQUE: Portacontenedores

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 16000 TEUS

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 22 nudos de velocidad de servicio con una autonomía de 20000 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Sin grúas

PROPULSIÓN: Motor Diesel acoplado a línea de ejes

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:

ALUMNO: D. Javier García Ávila

ÍNDICE

Índice	4
Ilustraciones.....	5
Tablas.....	5
Acrónimos usados	6
1. Introducción	7
2. Francobordo	8
2.1 Cubierta de francobordo	8
2.2 Cálculo de las características reglamentarias	8
2.2.1 Eslora.....	8
2.2.2 Manga.....	9
2.2.3 Puntal de francobordo.....	9
2.2.4 Coeficiente de bloque	9
2.3 Cálculo del francobordo.....	10
2.3.1 Francobordo tabular.....	10
2.3.2 Determinación de las superestructuras del buque.....	10
2.3.3 Longitud media cerrada y efectiva de las superestructuras.....	10
2.3.4 Determinación del arrufo normal y arrufo real	11
2.3.5 Aplicabilidad de las reglas	11
2.3.5.1 Regla 27, tipos de buque	11
2.3.5.2 Regla 28, tablas de francobordo.....	11
2.3.5.3 Regla 29, corrección para los buques de eslora inferior a 100 [m].....	12
2.3.5.4 Regla 30, corrección por coeficiente de bloque.....	12
2.3.5.5 Regla 31, corrección por puntal	12
2.3.5.6 Regla 32, corrección por la posición de la línea de cubierta	12
2.3.5.7 Regla 33, altura normal de las superestructuras	12
2.3.5.8 Reglas 34, 35, 36 y 37 reducción por superestructuras y troncos.....	12
2.3.5.9 Regla 38, arrufo	13
2.5 Determinación de las líneas de carga	14
2.5.1 Francobordo de verano.....	15
2.5.2 Francobordo de invierno:.....	15
2.5.3 Francobordo tropical.....	15
2.5.4 Francobordo de invierno en el atlántico norte.....	16
2.5.5 Francobordo en agua dulce.....	16
2.6 Altura mínima de proa	17
2.7 Estudio de la estabilidad del buque al calado de verano.....	17

3. Arqueo	19
3.1 Cubierta de arqueo	19
3.2 Características reglamentarias	19
3.2.1 Eslora.....	19
3.2.2 Manga	19
3.2.3 Puntal de francobordo.....	19
3.2.4 Número de pasajeros	20
3.3 Cálculo del volumen bajo la cubierta de arqueo	20
3.4 Cálculo del volumen sobre la cubierta de arqueo.....	21
3.5 Cálculo del arqueo bruto.....	21
3.6 Arqueo neto	22
Bibliografía.....	23
Anexo 1. Tabla francobordo tabular	24
Anexo 2. Porcentaje de reducción buques tipo B debido a la superestructura	24

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dimensiones principales	7
Ilustración 2. Eslora de reglamento	8

TABLAS

Tabla 1. Hidrostáticas con dt	9
Tabla 2. Arrufo normal	11
Tabla 3. Arrufo normal mitad de popa	13
Tabla 4. Arrufo normal mitad de proa	13
Tabla 5. Francobordo corregido	14
Tabla 6. Hidrostáticas en el calado de verano.....	16
Tabla 7. Resumen francobordos y calados	17
Tabla 8. Estudio de estabilidad a grandes ángulos en el calado de verano.....	18
Tabla 9. Hidrostáticas calado a 31 [m]	20
Tabla 10. Volumen sobre la cubierta de arqueo.....	21
Tabla 11. Volumen de los espacios de carga.....	22
Tabla 12. Cumplimiento del reglamento.....	22

ACRÓNIMOS USADOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
Δ	Desplazamiento	Tn
B	Manga del buque	m
Cb	Coficiente de bloque	-
Cf	Coficiente de la flotación	-
Cm	Coficiente de la maestra	-
Cp	Coficiente prismático	-
D	Puntal	m
Dp	Diámetro Hélice	m
Fb	Francobordo	m
Fn	Número de Fraude	-
g	Gravedad	m/s^2
GM	Radio metacéntrico	m
KB	Posición vertical del centro de carena	-
KG	Posición vertical del centro de gravedad	-
KM	Posición vertical del metacentro	-
Lpp	Longitud entre perpendiculares del buque	-
Loa	Longitud total del buque	-
P	Potencia	KW
PM	Peso muerto	Tn
PR	Peso en Rosca	Tn
T	Calado	m
Vmx	Velocidad máxima	m/s o Kn
Vsv	Velocidad servicio	m/s o Kn
XB, XC	Posición longitudinal del centro de carena	m
XG	Posición longitudinal del centro de gravedad	m

1. INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se procederá a realizar el estudio y cálculo de la normativa aplicable al buque proyecto en lo referente al francobordo y arqueo.

Se establecerá y determinará la cubierta de francobordo, calculando para ello las características reglamentarias de eslora, manga, puntal de francobordo y coeficiente de bloque. A continuación, se calculará el francobordo para todas las líneas de carga para, concluyendo con el apartado francobordo, realizar un estudio de estabilidad del buque en el calado de verano.

Seguidamente, se realizarán los cálculos referentes al arqueo. Comenzando con la cubierta de arqueo y continuando con la estimación de volúmenes sobre y bajo esta cubierta. Finalmente se calcularán el arqueo bruto y el arqueo neto,

Se parte de las características y dimensiones del buque proyecto estudiadas y calculadas en los distintos cuadernos realizados anteriormente:

TEUs Totales	16000 TEUs	Cb	0,7 [-]
TEUs Bodega	6963 TEUs	Cm	0,998[-]
Lpp	356 [m]	Cp	0,7 [-]
Loa	377 [m]	V	22 [Kn]
B	53 [m]	Fn	0.192 [-]
D	31 [m]	Δ	210499 [t]
T	15,5 [m]		

Ilustración 1. Dimensiones principales

2. FRANCOBORDO

El francobordo queda definido como la distancia vertical hacia abajo, medida en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta hasta el canto alto de la línea de carga sobre la cual se realice la medida.

El cálculo del francobordo se realiza a partir del “*Convenio de líneas de carga de 1966 y protocolo de 1988*”.

2.1 Cubierta de francobordo

La cubierta de francobordo se corresponde con la cubierta más alta que se encuentre expuesta.

En el buque proyecto ésta se sitúa cubierta, tal y como ha sido diseñado en cuadernos anteriores, a un puntal de 31,5 [m].

2.2 Cálculo de las características reglamentarias

Se calcularán a continuación las características y dimensiones que, posteriormente, serán necesarias para el cálculo del francobordo.

El buque proyecto, al ser un buque portacontenedores destinado al transporte de carga sólida normalizada, es un buque según reglamento de tipo B.

Las distintas dimensiones y características reglamentarias se calcularán en base a la Regla 3 del convenio.

2.2.1 Eslora

Se tomará como eslora el máximo valor entre 96% de la eslora total en la línea de flotación situada al 85% del puntal mínimo de trazado, $31 \cdot 0,85 = 26,775$ [m] en el buque proyecto, y la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si esta fuera mayor. Obteniendo de esta manera:

$$L = \max (371,96 \cdot 0,96; 351,41) = 357,1 \text{ [m]}$$

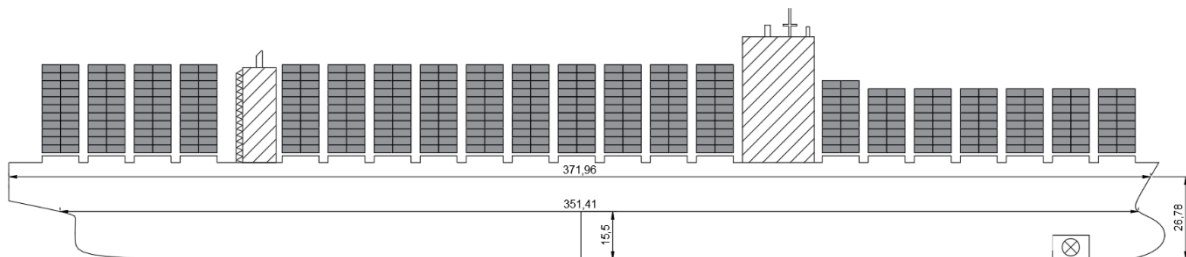


Ilustración 2. Eslora de reglamento

2.2.2 Manga

La manga se tomará como la manga máxima del buque, medida desde el centro de éste hasta la línea de trazado de la cuaderna.

En el caso del buque proyecto, se toma $B = 53$ [m].

2.2.3 Puntal de francobordo

El puntal de francobordo será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la plancha de trancañil de la cubierta de francobordo en el costado.

Tomando el valor del espesor de la cubierta del Cuaderno 8, 12,5 [mm].

$$D = 31 + 12,5 \cdot 10^{-3} = 31,0125 \text{ [m]}$$

2.2.4 Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d_t} = \frac{39955,12}{357,1 \cdot 53 \cdot 26,775} = 0,79 \text{ [-]}$$

Con:

- ∇ , el volumen de carena del buque en el puntal de trazado. A partir de las formas generadas en el cuaderno 3 y software Maxsurf, 399555,12 [m³].
- d_t , el 85% del francobordo mínimo de trazado, 26,775 [m].

Calado medio [m]	26,775
Desplazamiento [t]	409544
Escora [Deg]	0
Calado perpendicular proa [m]	26,773
Calado perpendicular popa [m]	26,777
Calado en el centro de flotación [m]	26,775
Trimado a popa [m]	0
Eslora en la flotación [m]	371,9
Manga máxima en la flotación [m]	53

Tabla 1. Hidrostáticas con d_t

2.3 Cálculo del francobordo

Se calcula a continuación el francobordo mínimo del buque, para ello se partirá del cálculo del francobordo tabular para, a continuación, estudiar la aplicabilidad de las distintas reglas expuestas en el “*Convenio de líneas de carga de 1966 y protocolo de 1988*”.

2.3.1 Francobordo tabular

El francobordo tabular se obtiene a partir de la eslora y el tipo de buque, en el caso del buque proyecto tal y como se mencionó anteriormente se corresponde a un buque del tipo B.

A partir de las tablas proporcionadas por la regla 28 del convenio, adjunta en el anexo, entrando con la eslora obtenida anteriormente $L = 357,1 [m]$ se obtiene:

$$FB_{tab} = 5220 [mm]$$

2.3.2 Determinación de las superestructuras del buque

Por definición, en el párrafo 10 de la Regla 3: “*Una superestructura será una construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extienda de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no este separado del forro del costado más de un 4% de la manga (B). Un saltillo se considerará como superestructura.*”

Partiendo de la definición, en el buque existen tres espacios susceptibles de ser superestructuras a ojos del reglamento estas son la habilitación, el guardacalor de popa y el castillo de proa.

Considerando un 4% de la manga: $B_{min} = 53 - 2 \cdot 53 \cdot 0,04 = 48,76 [m]$

Ni el guardacalor de popa ni la habilitación superan esta manga mínima, luego no se tendrán en cuenta para los cálculos de francobordo.

Por otro lado, en el caso del castillo de proa al ir de manga a manga si que queda contabilizado como superestructura y podrá aplicar corrección al francobordo tal y como se determinará más adelante en el cuaderno.

2.3.3 Longitud media cerrada y efectiva de las superestructuras

La longitud media se toma como la longitud de la superestructura que se encuentra dentro de la eslora, para el caso particular del castillo de proa se obtiene una eslora media de 5 [m] dentro de la eslora.

La longitud efectiva se toma como su longitud real, $E = 15,85 [m]$, y se considera igual a la longitud cerrada.

2.3.4 Determinación del arrufo normal y arrufo real

La curva de arrufo normal se obtiene a partir de la tabla expuesta en la Regla 36 donde se obtienen las siguientes ordenadas:

	Situación	Ordenada [mm]	Factor
Mitad de popa	Perpendicular popa	3226	1
	1/6 L desde la P. popa	1432	3
	1/3 L desde la P. popa	361	3
	Centro del barco	0	1
Mitad de proa	Centro del barco	0	1
	1/3 desde la P. proa	723	3
	1/6 desde la P. proa	2865	3
	Perpendicular proa	6452	1

Tabla 2. Arrufo normal

En el caso del buque proyecto no existe arrufo, por lo que la curva de arrufo real será 0, aunque cuando se realice el cálculo del francobordo, habrá que tener en cuenta el castillo, siendo este tomado como arrufo virtual.

2.3.5 Aplicabilidad de las reglas

Se procede a continuación a justificar la aplicabilidad las normas referentes al *Capítulo-III* del convenio, referente al francobordo. Para ello se partirá de la regla 27 y se estudiará hasta la regla 38.

2.3.5.1 Regla 27, tipos de buque

Tal y como se mencionó anteriormente, el buque proyecto es un buque de tipo "B". Al ser la eslora de este mayor a 100 [m] se le podrán aplicar reducciones del francobordo tabular según lo prescriban las reglas del convenio.

2.3.5.2 Regla 28, tablas de francobordo

De esta regla se obtuvo en el apartado 2.3.1 el francobordo tubular, obteniendo:

$$FB_{tab} = 5230 [mm]$$

2.3.5.3 Regla 29, corrección para los buques de eslora inferior a 100 [m]

En buque proyecto, al tener una eslora superior a 100 [m], no aplicará esta norma.

2.3.5.4 Regla 30, corrección por coeficiente de bloque

Cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0,68 [-], se realizará una corrección multiplicando este francobordo por el factor:

$$\frac{Cb + 0,68}{1,36} = \frac{0,79 + 0,68}{1,36} = 1,08 [-]$$

Obteniendo una corrección:

$$C_{C_B} = (5230 \cdot 1,08) - 5220 = 424 [mm]$$

2.3.5.5 Regla 31, corrección por puntal

Si D excede $\frac{L}{15}$, el francobordo deberá incrementarse a razón de $(D - \frac{L}{15}) \cdot 250$ [mm], al tener el buque proyecto una eslora superior a 120 [m]

Resultando de esta manera:

$$C_D = \left(31 - \frac{357,1}{15}\right) \cdot 250 = 1799 [mm]$$

2.3.5.6 Regla 32, corrección por la posición de la línea de cubierta

Al coincidir la marca de la línea de cubierta de francobordo con el puntal real del buque, esta corrección no aplica.

2.3.5.7 Regla 33, altura normal de las superestructuras

En el caso del buque proyecto, al tener una eslora superior a 125 [m], la altura normal de las superestructuras ha de ser 2,30 [m].

2.3.5.8 Reglas 34, 35, 36 y 37 reducción por superestructuras y troncos

Tal y como se mencionó en el apartado 2.3.3 del presente cuaderno, se toma como eslora efectiva del castillo de proa $E = 15,85$ [m].

Calculando la relación entre longitud efectiva del castillo y eslora del buque:

$$\frac{15,85}{357,1} = 0.04 [-]$$

Al ser este coeficiente menor a 0,07 [-], se aplica un porcentaje de reducción obtenido de la tabla aportada en la regla 37, corregido por la siguiente expresión:

$$5 \cdot \frac{0,07 \cdot L - f}{0,07 \cdot L} = 5 \cdot \frac{0,07 \cdot 357,1 - 15,85}{0,07 \cdot 357,1} = 1,83 [-]$$

Con:

- $f = 15,85 [m]$, la longitud efectiva del castillo.

De la tabla de la regla 37, adjunta en el anexo 2, se obtiene una reducción de 3,108 %

Luego:

$$(3,108 - 1,83) = 1,28 \%$$

Resultando de esta manera una reducción de:

$$5220 \cdot 1,28\% = 66 [mm]$$

2.3.5.9 Regla 38, arrufo

Tal y como se mencionó en el apartado 2.3.4 del presente cuaderno, en el caso del buque proyecto no existe arrufo real. Sin embargo, se ha de tener en cuenta el castillo de proa como arrufo virtual.

Mostrando a continuación los arrufos normales calculados:

	Situación	Ordenada [mm]	Factor	
Mitad de proa	Perpendicular popa	3226	1	3226
	1/6 L desde la P. popa	1432	3	4297
	1/3 L desde la P. popa	361	3	1084
	Centro del barco	0	1	0
Total [mm]				8607

Tabla 3. Arrufo normal mitad de popa

	Situación	Ordenada [mm]	Factor	
Mitad de proa	Centro del barco	0	1	0
	1/3 desde la P. proa	723	3	2168
	1/6 desde la P. proa	2865	3	8594
	Perpendicular proa	6452	1	6452
Total [mm]				17213

Tabla 4. Arrufo normal mitad de proa

Este arrufo supondrá un aumento del francobordo tabular dado por la siguiente expresión:

$$s = \frac{y \cdot L'}{3 \cdot L} = \frac{1,8 \cdot 15,85}{3 \cdot 357,1} \cdot 1000 = 27 \text{ [mm]}$$

Con:

- y , la altura real del castillo menos la altura reglamentaria, $y = 4,1 - 2,3 = 1,8 \text{ [m]}$.
- L' , longitud media de la parte cerrada del castillo, hasta un máximo de $0,5 \text{ [L]}$.
 $L' = 15,85 \text{ [m]}$.

La corrección por arrufo es la diferencia entre normal y real por el por el siguiente coeficiente:

$$c = 0,75 - \frac{s}{2 \cdot L} = 0,75 - \frac{27 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 357,1} = 0,749$$

Al ser los arrufos reales en proa y popa menores que los arrufos normales, existen defectos de arrufo.

Calculando:

$$\frac{(A_{nPr} - A_{rPr}) + (A_{nPp} - A_{rPp})}{16} = \frac{17213 - 8607}{16} = 537,9 \text{ [mm]}$$

Luego la corrección final resulta:

$$C_{Arrufo} = 537,9 \cdot 0,749 = 447 \text{ [mm]}$$

2.5 Determinación de las líneas de carga

Una vez calculadas las correcciones se procede a calcular el francobordo:

Francobordo tabular [mm]	5230
Corrección	[mm]
Regla 29	No aplica
Regla 30	424
Regla 31	1799
Regla 32	0
Regla 33	-
Regla 34	-
Regla 35	-
Regla 36	-
Regla 37	-66
Regla 38	447
Francobordo corregido	7834

Tabla 5. Francobordo corregido

Mediante la aplicación de la Regla 40, “*Francobordos mínimos*”, se calcularán las distintas líneas de carga correspondientes al francobordo de verano, francobordo de invierno, francobordo tropical, francobordo de invierno en el atlántico norte y francobordo en agua dulce.

2.5.1 Francobordo de verano

El francobordo de verano se corresponde al francobordo tabular corregido, calculado al inicio de este apartado:

$$FB_{\text{verano}} = 7834 \text{ [mm]}$$

A partir de este francobordo se puede obtener el calado máximo reglamentario en verano:

$$T_{\text{verano}} = 31 - 7834 \cdot 10^{-3} = 23,2 \text{ [m]}$$

2.5.2 Francobordo de invierno:

Se corresponde al francobordo de verano sumado a la siguiente corrección:

$$\frac{d}{48} = \frac{26775}{48} = 558 \text{ [mm]}$$

Obteniendo:

$$FB_{\text{Invierno}} = 7834 + 558 = 8392 \text{ [mm]}$$

Análogamente al apartado anterior, se obtiene el calado máximo reglamentario de invierno:

$$T_{\text{Invierno}} = 31 - 8392 \cdot 10^{-3} = 22,5 \text{ [m]}$$

2.5.3 Francobordo tropical

Se obtiene restando al francobordo de verano la corrección calculada en el apartado 2.5.2:

$$FB_{\text{Tropical}} = 7834 - 558 = 7276 \text{ [mm]}$$

Calculando el calado máximo reglamentario en esta situación:

$$T_{\text{Tropical}} = 31 - 7276 \cdot 10^{-3} = 23,7 \text{ [m]}$$

2.5.4 Francobordo de invierno en el atlántico norte

En el caso del buque proyecto al tener una eslora superior a 100m, se corresponde con el francobordo de invierno.

$$FB_{Invierno AN} = 8392 [mm]$$

Luego el calado máximo reglamentario coincidirá de igual manera:

$$T_{Invierno AN} = 22,5 [m]$$

2.5.5 Francobordo en agua dulce

El francobordo en agua dulce se corresponde al francobordo de verano en agua salada restando la siguiente corrección:

$$\frac{\Delta}{40 \cdot T} = \frac{342462}{40 \cdot 183,03} = 46,76 [cm]$$

Donde:

- Δ , es el desplazamiento del buque en agua salada al calado de verano.
- T , las toneladas por centímetro de inmersión al calado de verano.

Estos datos se obtienen a partir del software Maxsurf Stability:

Desplazamiento [t]	342462
Calado medio [m]	23,2
Trimado a popa [m]	0
Eslora en la flotación [m]	373,504
Manga máxima en la flotación [m]	53
Área mojada [m ²]	30497,729
Área de la flotación m ²	17856,538
Cp	0,731
Cb	0,726
Cm	0,993
Cwp	0,902
TPc [t/cm]	183,03
MTc [t·m]	5120,209

Tabla 6. Hidrostáticas en el calado de verano

Luego:

$$FB_{Agua Dulce} = 7834 - 46,76 \cdot 10 = 7366 [mm]$$

Obteniendo un calado máximo por reglamento:

$$T_{Agua Dulce} = 31 - 7366 \cdot 10^{-3} = 23,6 [m]$$

Resumiendo, se muestran los resultados obtenidos de los francobordos y calados para las distintas líneas de carga:

Línea carga	Francobordo [mm]	Calado [m]
Verano	7834	23,2
Invierno	8392	22,5
Tropical	7276	23,7
Invierno AN	8392	22,5
Agua Dulce	7366	23,6

Tabla 7. Resumen francobordos y calados

2.6 Altura mínima de proa

Se calcula a continuación la altura mínima de proa, mediante la aplicación de la Regla 39.

La altura mínima de proa se toma como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre el francobordo de verano y el canto alto en el costado de la cubierta expuesta.

Para buques con eslora superior a 250 [m] se calcula mediante la siguiente expresión:

$$7000 \cdot \frac{1,36}{C_B + 0,69} = 7000 \cdot \left(\frac{1,36}{0,79 + 0,69} \right) = 6433 [mm]$$

Se observa que la altura mínima de proa es menor a cualquier francobordo calculado anteriormente.

2.7 Estudio de la estabilidad del buque al calado de verano

Finalmente se realiza un estudio de la estabilidad del buque en el calado de verano, para ello, se realiza un estudio de estabilidad a grandes ángulos en Maxsurf Stability, correspondiente a un desplazamiento de 342462 [t].

Se muestran en la siguiente página los resultados del estudio de estabilidad.

En el caso particular de este desplazamiento, situando de la manera más adecuada posible los contenedores, se incumplen los criterios de estabilidad correspondientes al área de GZ a ángulos de escora superiores a 30°.

Esto justifica que el calado de escantillonado del buque y máxima carga haya sido establecido a 15,5 [m].

	Ángulos de escora																	
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70
GZ m	-0,12	-0,25	-0,19	-0,09	-0,04	-0,02	0,00	0,02	0,04	0,09	0,19	0,25	0,12	-0,12	-0,43	-1,25	-2,34	-3,55
Área bajo la curva de GZ desde ángulo nulo [m·rad]	3,27	2,28	1,13	0,47	0,17	0,03	0,00	0,03	0,17	0,47	1,14	2,27	3,28	3,33	2,02	-6,18	-23,93	-53,39
Desplazamiento [t]	341098	341093	341094	341093	341093	341094	341098	341088	341093	341093	341093	341093	341093	341093	341093	341093	341105	341071
Calado perpendicular proa [m]	22,58	22,70	22,92	23,11	23,24	23,35	23,37	23,35	23,24	23,11	22,92	22,70	22,58	22,61	22,83	23,86	25,80	29,77
Calado perpendicular popa [m]	23,13	22,81	22,79	22,89	22,94	22,91	22,93	22,91	22,94	22,89	22,79	22,81	23,14	23,76	24,68	27,46	31,93	40,35
Trimado a popa [m]	0,55	0,11	-0,13	-0,22	-0,30	-0,45	-0,45	-0,45	-0,30	-0,22	-0,13	0,11	0,57	1,16	1,85	3,60	6,13	10,58
Eslora en la flotación [m]	372,81	372,93	373,34	373,51	373,61	373,71	373,69	373,71	373,61	373,51	373,34	372,93	372,80	372,84	376,79	382,37	384,67	385,56
Manga máxima en la flotación [m]	50,43	53,03	56,40	54,87	53,82	53,20	53,00	53,20	53,82	54,87	56,40	53,03	50,44	49,03	48,01	42,75	37,92	35,00
Área mojada [m ²]	32129	31264	30277	30215	30197	30473	30443	30473	30197	30215	30277	31264	32128	32747	33239	33924	34219	34380
Área de la flotación m ²	16270	17399	18531	18161	17959	17935	17867	17935	17959	18161	18531	17399	16270	15437	14799	13374	12200	11515
Cp	0,754	0,747	0,740	0,735	0,732	0,731	0,730	0,731	0,732	0,735	0,740	0,747	0,754	0,762	0,762	0,766	0,772	0,778
Cb	0,559	0,551	0,538	0,578	0,623	0,673	0,718	0,673	0,623	0,578	0,538	0,551	0,559	0,556	0,544	0,573	0,627	0,680
LCG [m]	168,86	168,85	168,86	168,86	168,87	168,88	168,89	168,88	168,87	168,86	168,86	168,85	168,84	168,83	168,81	168,78	168,76	168,75
LCF [m]	171,85	169,48	165,33	163,45	161,78	160,00	159,95	160,00	161,78	163,45	165,33	169,48	171,85	173,25	174,39	176,33	177,87	179,47
Máximo ángulo de inclinación de cubierta [deg]	30,00	25,00	20,00	15,00	10,00	5,00	0,07	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	50,00	60,00	70,00
Ángulo de trimado [deg]	0,09	0,02	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,07	-0,07	-0,05	-0,04	-0,02	0,02	0,09	0,19	0,30	0,58	0,99	1,70

Tabla 8. Estudio de estabilidad a grandes ángulos en el calado de verano

3. ARQUEO

A continuación, se realizará el cálculo de los arqueos brutos y netos del buque proyecto. Para ello se empleará el “*Convenio internacional sobre Arqueo de Buques*” de 1969.

En primer lugar, es preciso calcular las características reglamentarias del buque que permitan realizar los cálculos de acuerdo con el reglamento del convenio.

3.1 Cubierta de arqueo

La cubierta de arqueo será aquella cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y al mar, según la definición del convenio.

3.2 Características reglamentarias

3.2.1 Eslora

Se tomará como eslora el máximo valor entre 96% de la eslora total en la línea de flotación situada al 85% del puntal mínimo de trazado, $31 \cdot 0,85 = 26,775$ [m] en el buque proyecto, y la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si esta fuera mayor.

Se observa que la definición coincide con la eslora de francobordo, de esta manera:

$$L = \max (371,96 \cdot 0,96; 351,41) = 357,1 \text{ [m]}$$

3.2.2 Manga

La manga se tomará como la manga máxima del buque, medida desde el centro de éste hasta la línea de trazado de la cuaderna.

En el caso del buque proyecto, se toma $B = 53$ [m].

3.2.3 Puntal de francobordo

El puntal de francobordo será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado:

$$D = 31 \text{ [m]}$$

3.2.4 Número de pasajeros

Por definición un pasajero es toda aquella persona que no sea el capitán, tripulación, personal contratada para realizar labores en el buque o niños menores de un año.

El buque proyecto, aplicando la definición anterior, no cuenta con ningún pasajero.

3.3 Cálculo del volumen bajo la cubierta de arqueo

En el caso del volumen bajo la cubierta de arqueo se considera la carena. A partir de Maxsurf y empleando un calado de 31 [m], correspondientes a la cubierta de arqueo, se obtiene un volumen de carena de 478866 [m³].

Desplazamiento [t]	490838
Volumen [m ³]	478866,402
Calado perpendicular proa [m]	31
Calado perpendicular popa [m]	31
Calado medio [m]	31
Trimado a popa [m]	0
Eslora en la flotación [m]	381,652
Manga máxima en la flotación [m]	53
Área mojada [m ²]	36953,705
Área de la flotación m ²	19146,83
Cp	0,766
Cb	0,762
Cm	0,995
Cwp	0,947
LCG [m]	166,863
LCF [m]	169,271
KB [m]	17,011
KG fluid[m]	0,051
BMt [m]	8,855
BML [m]	445,218
GMt corrected [m]	25,815
GML [m]	462,178
KMt [m]	25,866
KML [m]	462,229
TPc [t/cm]	196,255
MTc [t·m]	6372,317
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) [t·m]	221139,062

Tabla 9. Hidrostáticas calado a 31 [m]

3.4 Cálculo del volumen sobre la cubierta de arqueo

El volumen sobre la cubierta de arqueo se considera el correspondiente a la habilitación, guardacalor, puente, brazolas y castillo de proa.

Se muestra a continuación una tabla resumen de cada uno de los distintos volúmenes calculados a partir del Maxsurf y AutoCAD:

	Volumen [m ³]
Brazolas	26611
Castillo	875
Habilitación	21228
Puente	2444
Guardacalor	8178
Total	59336

Tabla 10. Volumen sobre la cubierta de arqueo

3.5 Cálculo del arqueo bruto

El arqueo bruto se define como la expresión del tamaño total de un buque determinado, según las disposiciones del Convenio.

El Convenio marca según la Regla 3 que el arqueo bruto del buque se calcula conforme a la siguiente expresión:

$$GT = K_1 \cdot V = 0,315 \cdot 538202 = 169329$$

Con:

- K_1 , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 538202 = 0,315$$

- V , el volumen total de los espacios cerrados, $59336 + 478866 = 538202$ [m³].

3.6 Arqueo neto

El arqueo neto se define como la capacidad de volumen utilizable del buque para el transporte de carga.

El arqueo neto se obtiene a partir de la siguiente fórmula, recogida en la Regla 14 del Convenio:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K_1 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 0,31 \cdot 363102 \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{23,2}{31}\right)^2 = 112078$$

Con:

- K_2 , se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_C = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 478866 = 0,31$$

- N , el número de pasajeros. En el caso del buque proyecto, $N_i = 0$.
- V_C , el volumen de los espacios de carga.

	Volumen [m ³]
Bodega 1	17493
Bodega 2	24759
Bodega 3	41550
Bodega 4	44940
Bodega 5	44940
Bodega 6	44940
Bodega 7	41550
Bodega 8	41160
Bodega 9	36690
Bodega 10	25080
Total	363102

Tabla 11. Volumen de los espacios de carga

En comprobación del cumplimiento del reglamento se han de cumplir las siguientes condiciones:

Criterio	Requerido	Obtenido
$\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$	<1	0,995
$K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$	>0,25·GT=42332	112078
NT	>0,25·GT=42332	112078

Tabla 12. Cumplimiento del reglamento

Se observa que se cumplen todos los criterios establecidos por el reglamento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] JUNCO OCAMPO, Fernando Antonio. *Proyectos de buques y artefactos. Anteproyecto y dimensionamiento del buque*. Ferrol: Universidade da Coruña, [sin fecha].
- [2] CONDE ALONSO, Nadia. *Buque portacontenedores post panamax 9000 TEU's*. Trabajo fin de máster, Universidade da Coruña, 2017.
- [3] IMO, *Conferencia Intemacional, junto con los documentos anexos incluyendo el Convenio Intemacional sobre Lfneas de Carga*. Londres, 1966.
- [4] IMO, *Convenio Internacional del 23 de junio de 1969 Sobre Arqueo de Buques*. Londres 1969.
- [5] PUENTE VARELA, B. y DIAZ CASAS, V. *Apuntes de proyectos de buques y artefactos I*. Ferrol: Universidade da Coruña, 2021.
- [6] RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, Miguel Ángel. *Buque portacontenedores de 20000 TEUS adaptado a ruta Asia-Europa*. Ferrol: Universidade da Coruña, 2021.
- [7] SCHNEEKLUTH, H. y V. BERTRAM. *Ship design for efficiency and economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1989.
- [8] VAN DOKKMUN, Klaas. *Ship Knowledge. Ship Design, construction and operation*. 5ª ed. Enkhuizen: Dokmar.

ANEXO 1. TABLA FRANCOBORDO TABULAR

TABLA B (continuación)

Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
312	4757	330	4955	348	5140
313	4768	331	4965	349	5150
314	4779	332	4975	350	5160
315	4790	333	4985	351	5170
316	4801	334	4995	352	5180
317	4812	335	5005	353	5190
318	4823	336	5015	354	5200
319	4834	337	5025	355	5210
320	4844	338	5035	356	5220
321	4855	339	5045	357	5230
322	4866	340	5055	358	5240
323	4878	341	5065	359	5250
324	4890	342	5075	360	5260
325	4899	343	5086	361	5268
326	4909	344	5097	362	5276
327	4920	345	5108	363	5285
328	4931	346	5119	364	5294
329	4943	347	5130	365	5303

ANEXO 2. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN BUQUES TIPO B DEBIDO A LA SUPERESTRUCTURA*Porcentaje de reducción para buques del tipo "B"*

	Línea	Longitud efectiva total de superestructuras y troncos										
		0	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,6 L	0,7 L	0,8 L	0,9 L	1,0 L
Buques con castillo y sin puente aislado	I	0	5	10	15	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