



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2021/2022**

---

*Petrolero VLCC con 300000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNO**

Pedro Lemos González

**TUTOR**

Marcos Míguez González

**FECHA**

JUNIO 2022

## PETROLERO VLCC DE 300000 TPM

### **Castellano:**

El presente proyecto comprenderá el diseño de un buque petrolero de 300000 toneladas de peso muerto con 30 tripulantes que sea capaz de navegar grandes distancias típicas en este tipo de buques.

Concretamente este buque será diseñado para hacer el trayecto de carga en Arabia Saudita y descarga en Singapur, China y Japón. Además, la autonomía será de 18.000 millas (~29.000km).

El buque constará además con un sistema de propulsión de gas capaz de aprovechar los gases residuales de la carga de crudo con el fin de mejorar la eficiencia de la turbina de cara a la contaminación del medioambiente y de reducir las presiones en el interior de los tanques de crudo. El sistema de carga y descarga será por cámara de bombas y el resto de equipo e instalaciones serán los habituales en este tipo de buques.

### **Galego:**

O presente proxecto comprenderá o deseño dun buque petroleiro de 300000 toneladas de peso morto con 30 tripulantes que sexa capaz de navegar grandes distancias típicas neste tipo de buques.

Concretamente este buque será deseñado para facer o traxecto de carga en Arabia Saudita e descarga en Singapur, China e Xapón. Ademáis, a autonomía será de 18 millas (~29.000km).

O buque constará ademáis cun sistema de propulsión de gas capaz de aproveitar os gases residuais da carga de crudo co fin de mellorar a eficiencia da turbina de cara á contaminación do medioambiente e de reducir as presións do interior dos tanques de crudo. O sistema de carga e descarga será por cámara de bombas e o resto de equipo e instalacións serán os habituais neste tipo de buques.

### **English:**

The present project involves a crude carrier ship design of 300000 deathweight tonnage with 30 crew that it will be able to sail very large routes, typical in this kind of ships.

Particullary, this ship will be designed to do routes from Arabia Saudi in loading to Singapore, China and Japan in disloading. Moreover, the autonomy will be of 18.000 miles (~29.000 km).

This ship will consist in adition with a gas propulsion system that it wil be able to take advantage of residual gas from crude to improve the eficiencie of the turbine against the enviromental pollution. That´s why the highest presures inside tanks must be reduced in order to difuse danger. Charge system will consist in a pump room and the rest of instalations will be the typical among these kind of ships.



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2021/22**

---

*Petrolero VLCC de 300000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno IX:**

**FRANCOBORDO Y ARQUEO**

---

ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR

---



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*CURSO 2021-2022*

**PROYECTO NÚMERO**

**TIPO DE BUQUE:**

Petrolero

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:**

DNV, SOLAS y MARPOL.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:**

300000 TPM. Crudos del petróleo y sus derivados con densidad máxima de 0.95 g/ml

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:**

14.8 Knots de velocidad de servicio. 18.000 millas a velocidad de servicio.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:**

Cámara de bombas

**PROPULSIÓN:**

Motor convencional

Combustible: HFO (fuelóleo pesado) y LNG (gas natural licuado)

**TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30**

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

Ferrol, 27 de junio de 2022

ALUMNO/A: **Dº Pedro Lemos González**

## ÍNDICE

Petrolero VLCC de 300000 TPM.....	2
Índice .....	5
1 Introducción. ....	6
2 Cálculo del francobordo. ....	7
2.1 Parámetros. ....	7
2.1.1 Eslora de Francobordo. ....	7
2.1.2 Manga de Francobordo.....	8
2.1.3 Puntal de Francobordo. ....	8
2.1.4 Coeficiente de bloque. ....	8
2.1.5 Cubierta de Francobordo. ....	8
2.1.6 Superestructura. ....	8
2.2 Francobordo tabular.....	8
2.3 Correcciones.....	9
2.3.1 Corrección por eslora menor de 100 metros. ....	9
2.3.2 Corrección por Coeficiente de Bloque.....	9
2.3.3 Corrección por puntal.....	9
2.3.4 Corrección por superestructuras.....	9
2.3.5 Corrección por arrufo.....	10
2.4 Francobordo mínimo reglamentario. ....	11
2.5 Francobordo de verano.....	11
2.6 Francobordo tropical. ....	11
2.7 Francobordo de invierno. ....	11
2.8 Francobordo para el Atlántico Norte en invierno. ....	11
2.9 Francobordo para agua dulce. ....	12
2.10 Francobordo para agua dulce tropical.....	13
2.11 Altura mínima de proa.....	13
3 Arqueo. ....	15
3.1 Arqueo bruto.....	15
3.2 Arqueo neto. ....	16
4 Bibliografía.....	17
5 Anejo I: Excel de comprobación de cálculos. ....	18

## 1 INTRODUCCIÓN.

A lo largo de este cuaderno se llevarán a cabo los cálculos de francobordado mínimo reglamentario, que aporta seguridad limitando el calado máximo del buque, así como la altura mínima de proa, siguiendo el “Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966” y el “Protocolo de 1988”.

A continuación, se muestran los parámetros finales del buque:

<b><math>L_{pp}</math></b>	325 m
<b><math>L_{TOTAL}</math></b>	339,3 m
<b>B</b>	60 m
<b>D</b>	30 m
<b>T</b>	19,665 m
<b><math>C_b</math></b>	0,83
<b><math>C_m</math></b>	0,99
<b><math>C_p</math></b>	0,80
<b><math>C_{wp}</math></b>	0,88
<b><math>\Delta</math></b>	365.984 ton
<b><math>P_{rosca}</math></b>	46.442,83 ton
<b>Superficie Mojada</b>	28.080,829 m <sup>2</sup>
<b>Velocidad</b>	14,8 Knots
<b>Semiángulo de entrada</b>	51°
<b>Potencia al 85%MCR</b>	39.930,71 kW
<b>RPM</b>	86
<b>Coste de Adquisición</b>	126.795.908,8 €

## 2 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO.

Según el “Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966”, el francobordo queda definido como la distancia vertical hacia abajo, en la sección media del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta de francobordo hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente. Siendo la cubierta de francobordo la más alta del cierre y bajo la que las aberturas están dotadas de cierres estancos, en nuestro caso la cubierta principal (cubierta N°4, A 30 metros sobre línea de base).

La principal función del convenio consiste en limitar el calado hasta el que el buque puede ser cargado contribuyendo a la seguridad de la navegación. Los límites establecidos son en forma de francobordos, junto con reglas relacionadas con la estanqueidad a la intemperie y la integridad de esta.

Las reglas del convenio consideran las dificultades existentes en distintas zonas geográficas y diferentes estaciones del año. El anejo técnico, con el fin de garantizar la estanqueidad del casco por debajo de la cubierta de francobordo, establece otras medidas de seguridad relativas a puertas, puertas de desagüe, escotillas y otros elementos.

Las líneas de carga deben de señalarse a cada costado, en el centro del buque, junto a la línea de cubierta.

Durante el desarrollo del cuaderno 1 se ha llevado a cabo una estimación preliminar de Francobordo para estudiar la viabilidad del buque en las dimensiones calculadas. En este cuaderno se hará un estudio más detallado, con valores definidos.

Con respecto a francobordo, los buques se clasifican en:

- TIPO A: buques proyectados para el transporte de cargas líquidas a granel con alta integridad de la cubierta expuesta a la intemperie y sólo pequeñas aberturas y acceso a compartimentos de carga y gran resistencia a la inundación debido a su alto grado de subdivisión.
- TIPO B: todos los buques que no cumplen las características de los tipo A.

Así pues, nuestro buque será de tipo A.

### 2.1 Parámetros.

#### 2.1.1 Eslora de Francobordo.

Se toma el mayor de los valores entre:

- El 96% de la eslora total desde el extremo de la roda hasta el extremo del codaste en una flotación al 85% del puntal mínimo de trazado:

$$T = 85\% \times D = 0,85 \times 30 = 25.5 \text{ m}$$

$$L_{85\%D} = 333,955 \times 0,96 = 320,597$$

- La eslora medida en la flotación desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón:

$$L_{roda-mecha} = 325,04 \text{ m}$$

Por tanto, en nuestro caso:

$$L = 325,04 \text{ m}$$

### *2.1.2 Manga de Francobordo.*

Se toma como la máxima manga medida en el centro del buque hasta la línea de trazado de cuaderna:

$$B = 60 \text{ m}$$

### *2.1.3 Puntal de Francobordo.*

Se corresponde con 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.

El espesor calculado en el cuaderno 8 es de 11 mm, por tanto:

$$D_{FB} = 30 + 0,011 = 30,011 \text{ m}$$

### *2.1.4 Coeficiente de bloque.*

El coeficiente de bloque se calcula al 85% del puntal mediante la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times 85\%D} = \frac{357.057,361}{325,04 \times 60 \times 26,359}$$
$$C_B = 0,718$$

### *2.1.5 Cubierta de Francobordo.*

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

En el presente caso, se corresponde con la cubierta principal, situada a 30 metros sobre la línea de base.

### *2.1.6 Superestructura.*

Se denomina así a toda construcción dispuesta por encima de la cubierta de francobordo, que se extienda de banda a banda o cuyo forro lateral no esté separado del costado más de un 4% del manga. En este caso, solo existe superestructura a popa, y su separación del forro de costado es superior al 4% de la manga, por lo tanto, esta es considerada caseta y no superestructura.

## **2.2 Francobordo tabular.**

Según la regla 27 del Convenio, para el cálculo de francobordo, el buque aquí expuesto se corresponde con un tipo A, como ya se ha mencionado con anterioridad.

Según la Regla 28, el francobordo tabular es función directa del tipo de buque y su eslora, por lo que el valor está proporcionado por el reglamento, interpolando linealmente en los casos que así se requiera.

Para el buque aquí trazado, de tipo A y eslora 325,04 metros, tenemos lo siguiente:



<i>Table</i>	
<i>L</i>	<i>freeboard</i>
325	3345
326	3347

<i>L</i>	<i>freeboard</i>
325,04	3346

$$FB_{tab} = 3346 \text{ mm}$$

## 2.3 Correcciones.

### 2.3.1 Corrección por eslora menor de 100 metros.

No aplica.

### 2.3.2 Corrección por Coeficiente de Bloque.

La regla 30 del convenio indica cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0,68 el francobordo tubular especificado en la regla 28 se ha de multiplicar por el factor:

$$C_1 = \frac{C_B + 0,68}{1,36} = \frac{0,718 + 0,68}{1,36} = 1,0279$$

### 2.3.3 Corrección por puntal.

En el caso de que el puntal exceda de  $L/15$ , el francobordo debe ser incrementado en:

$$D = 30,011 \text{ m} > \frac{325,04}{15} = 21,669 \text{ m} \rightarrow \text{Corrige!}$$

$$\text{Se debe incrementar en: } \left(D - \frac{L}{15}\right) \times R$$

Donde:

$$R = 250 \text{ si } L > 120 \text{ m}$$

Se aplica entonces una corrección tal que:

$$C_2 = \left(D - \frac{L}{15}\right) \times R = \left(30,011 - \frac{325,04}{15}\right) \times 250$$

$$C_2 = 2086 \text{ mm}$$

### 2.3.4 Corrección por superestructuras.

A efectos de francobordo y de convenio, no tenemos superestructura, sino caseta, por tanto, no existe corrección.

### 2.3.5 Corrección por arrufo.

Siguiendo la regla 38 del convenio, cuando la curva de arrufo es diferente a la estándar, las cuatro ordenadas en cada mitad de popa y proa se multiplican por los factores correspondientes, dado en la tabla de ordenadas.

La diferencia entre la suma de los productos así obtenidos y la de los productos correspondientes a arrufo normal, dividida entre 8, indica el defecto o exceso de arrufo en las mitades de proa y popa. La media aritmética de los valores así obtenidos expresa el exceso o defecto de arrufo en cubierta.

Las ordenadas de la curva de arrufo normal aplicadas al buque proyecto se recogen en la siguiente tabla (L en metros).

Standard Sheer Profile					
Station	Ordinate	Factor	Product		
After perpendicular	2959	1	2959		
1/6 L from A.P.	1314	3	3942		
1/3 L from A.P.	331	3	993		
Amidships	0	1	0	After Sheer	7894
Amidships	0	1	0		
1/3 L from A.P.	663	3	1989		
1/6 L from A.P.	2627	3	7881		
Forward perpendicular	5917	1	5917	Forward Sheer	15787

El buque no tiene arrufo, como se puede observar:

Sheer Profile					
Station	Ordinate	Sum for Le=L	Total	Factor	Product
After perpendicular	0	0	0	1	0
1/6 L from A.P.	0	0	0	3	0
1/3 L from A.P.	0	0	0	3	0
Amidships	0	0	0	1	0
Amidships	0	0	0	1	0
1/3 L from F.P.	0	0	0	3	0
1/6 L from F.P.	0	0	0	3	0
Forward perpendicular	0	0	0	1	0
					After Sheer 0
					Forward Sheer 0

Por lo tanto, se obtiene un defecto de arrufo que se debe compensar con un aumento de francobordo.

Forward and After corrections for Sheer be allowed

Corrected After Product Difference	-7894
Corrected Forward Product Difference	-15787

Según los cálculos, se deberá corregir con un valor de:

$$C_4 = 1398 \text{ mm}$$

## 2.4 Francobordo mínimo reglamentario.

Se obtiene mediante la aplicación de las correcciones de los apartados anteriores:

$$FB = (FB_{tab} \times C_1) + C_2 - C_3 + C_4$$
$$FB = (3346 \times 1,0279) + 2086 - 0 + 1398$$
$$FB = 6.924mm$$

## 2.5 Francobordo de verano.

El francobordo de verano es coincidente con el francobordo mínimo reglamentario, en este caso:

$$FB_{verano} = 6.924 \text{ mm}$$

Se obtiene también el calado de verano:

$$T_{verano} = D_{FB} - FB_{verano} = 30,011 - 6,924 = 23,087 \text{ m}$$

La condición de carga más desfavorable tendrá, según lo calculado en el cuaderno 5, un calado de 19,665 metros. Dicho esto, este será el calado de verano dado que nunca se operará por encima de dicho calado, por lo que el francobordo será:

$$T_{verano} = 19.665 \text{ mm}$$

$$FB_{verano} = 10.346 \text{ mm}$$

## 2.6 Francobordo tropical.

El francobordo mínimo en la zona tropical será:

$$FB_{tropical} = FB_{verano} - \left( \frac{T_{verano}}{48} \right)$$
$$FB_{tropical} = 10.346 - \left( \frac{19.665}{48} \right) = 10.345,59 \text{ mm}$$

El calado será, por tanto:

$$T_{tropical} = D_{FB} - FB_{tropical} = 30.011 - 10.345,59 = 19.665,41 \text{ mm}$$

## 2.7 Francobordo de invierno.

Viene dado por la siguiente expresión:

$$FB_{invierno} = FB_{verano} + \left( \frac{T_{verano}}{48} \right)$$
$$FB_{invierno} = 10.346 + \left( \frac{19.665}{48} \right) = 10.755'69 \text{ mm}$$

El calado será, por tanto:

$$T_{invierno} = D_{FB} - FB_{invierno} = 30.011 - 10.755'69 = 19.255,31 \text{ mm}$$

## 2.8 Francobordo para el Atlántico Norte en invierno.

Los buques de eslora superior a 100 metros disponen de un francobordo mínimo para el Atlántico Norte en invierno igual al francobordo de invierno.

$$FB_{A.N.} = 10.346 + \left(\frac{19.665}{48}\right) = 10.755'69 \text{ mm}$$

$$T_{A.N.} = D_{FB} - FB_{invierno} = 30.011 - 10.755'69 = 19.255,31 \text{ mm}$$

## 2.9 Francobordo para agua dulce.

El francobordo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada el resultado siguiente:

$$FB_{agua\ dulce} = FB_{verano} - \left(\frac{\Delta}{40 \times TPC}\right)$$

Measurement	Value	Units
Displacement	322593	t
Volume (displaced)	314725,199	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	19,665	m
Immersed depth	19,665	m
WL Length	333,95	m
Beam max extents on WL	60	m
Wetted Area	28055,506	m <sup>2</sup>
Max sect. area	1175,129	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	17455,98	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,802	
Block coeff. (Cb)	0,799	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,996	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,871	
LCB length	169,14	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	161,873	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	50,648	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	48,472	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	10,216	m
KG fluid	0	m
BMt	14,909	m
BML	408,675	m
GMt corrected	25,126	m
GML	418,891	m
KMt	25,126	m
KML	418,891	m
Immersion (TPc)	178,924	tonne/cm
MTc	4157,891	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	141458,834	tonne.m
Length:Beam ratio	5,566	
Beam:Draft ratio	3,051	
Length:Vol <sup>0.333</sup> ratio	4,909	
Precision	Low	39 stations

Tenemos pues que el desplazamiento al calado de verano es de 323.202 toneladas y las toneladas por centímetro de inmersión serán 178,951. Por tanto:

$$FB_{agua\ dulce} = 10.346 - \left( \frac{322593}{40 \times 178,924} \right)$$
$$FB_{agua\ dulce} = 10.300,93\ mm$$

Por tanto, el calado será:

$$T_{agua\ dulce} = D_{FB} - FB_{agua\ dulce} = 30.011 - 10.300,93 = 19.710,07\ mm$$

## 2.10 Francobordo para agua dulce tropical.

Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$FB_{AD\ tropical} = FB_{agua\ dulce} - \left( \frac{T_{agua\ dulce}}{48} \right)$$
$$FB_{AD\ tropical} = 10.300,93 - \left( \frac{19.710,07}{48} \right) = 9.890,30\ mm$$

Por tanto, el calado será:

$$T_{AD\ tropical} = D_{FB} - FB_{AD\ tropical} = 30.011 - 9.890,30 = 20.120,70\ mm$$

## 2.11 Altura mínima de proa.

La altura mínima de proa se define como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta a la intemperie en el costado.

Según el convenio, la expresión a utilizar es la siguiente:

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

Donde:

L: eslora de francobordo (325,04 m).

B: manga de trazado (60 m).

C<sub>B</sub>: coeficiente de bloque de francobordo (0,718).

d<sub>1</sub>: calado al 85% del puntal (25,5 m).

C<sub>wf</sub>: coeficiente de flotación a proa de L/2.

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{B \times \frac{L}{2}}$$

Donde a su vez,  $A_{wf}$  es el área de flotación a proa de  $\frac{L}{2}$  para el calado  $d_1$ :

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	429906	t
2	Volume (displaced)	419420,410	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	25,500	m
4	Immersed depth	25,500	m
5	WL Length	334,955	m
6	Beam max extents on	60,000	m
7	Wetted Area	32098,197	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	1525,782	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	17933,212	m <sup>2</sup>

Por tanto:

$$A_{wf} = 17.933,212 \text{ m}^2$$

Y tenemos pues:

$$C_{wf} = \frac{17.933,212}{60 \times \frac{325,04}{2}} = 0,919$$

Entonces podemos resolver:

$$FB = \left( 6075 \times \left( \frac{325,04}{100} \right) - 1875 \times \left( \frac{325,04}{100} \right)^2 + 200 \times \left( \frac{325,04}{100} \right)^3 \right) \\ \times \left( 2,08 + 0,609 \times 0,718 - 1,603 \times 0,919 - 0,0129 \times \frac{325,04}{25.5} \right) \\ FB = 5.985,98 \text{ mm}$$

Podemos calcular entonces el calado máximo permitido en la perpendicular de proa:

$$T_{max} = 30.011 - 5.985,98 = 24.025,02 \text{ mm}$$

Vemos que el calado máximo no es superado por ninguno de los presentado en el proyecto, por tanto, se puede decir que se respeta siempre la altura de francobordo mínima libre y, por tanto, en estos términos, cumple.

### 3 ARQUEO.

El arque mide la capacidad volumétrica del buque. Se define arque bruto como el volumen total del buque, mientras que el arqueo neto hace referencia tan sólo a la capacidad utilizable del buque, en el caso tratado los espacios de carga.

Como el buque proyecto se trata de un petrolero de crudo, el arqueo será calculado siguiendo el “Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969”.

Previamente al desarrollo del ejercicio, debe ser definido el concepto de “espacio cerrado”, pues recibe este nombre todo aquel espacio limitado por el casco del buque, por mamparos fijos o móviles y por cubiertas y techos que no sean toldos permanentes o móviles.

En el buque se consideran espacios cerrados:

- El casco del buque por debajo de la cubierta principal.
- La estructura de habitación, puente de gobierno, guardacalor y chimenea por encima de la cubierta de francobordo.

#### 3.1 Arque bruto.

Seguendo del convenio mencionado, en la regla 3, se identifica el cálculo de arque bruto como:

$$GT = K_1 \times V$$

Donde:

V: volumen total de todos los espacios cerrados del buque (m<sup>3</sup>).

K<sub>1</sub>: definida como:

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

El volumen por debajo de la cubierta principal, a 30 metros sobre línea de base, se obtiene mediante Maxsurf:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	513254	t
2	Volume (displaced)	500735,230	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	30,000	m

Se obtiene un volumen de casco de 500.735,23 m<sup>3</sup>.

El volumen de la estructura sobre cubierta se obtiene con los planos del cuaderno 7, teniendo un total final de 15.780 m<sup>3</sup>.

Por tanto, el volumen total será:

$$V = 516.515,23 \text{ m}^3$$

Por tanto, el arqueo bruto queda como:

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

$$GT = (0,2 + 0,02 \times \log_{10}(516.515,23)) \times 516.515,23$$

$$GT = 162.320,94 \text{ toneladas}$$

### 3.2 Arqueo neto.

Se define el arqueo neto, NT, como la expresión de la capacidad utilizable de un buque, para el transporte de carga, determinada de acuerdo con las disposiciones del convenio. Este se calcula aplicando la siguiente expresión, la cual se puede encontrar en la Regla 14:

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

Donde:

$V_c$ : volumen de los espacios de carga en  $m^3$  (según Maxsurf = 311.819,962  $m^3$ ).

$K_2$ : se define como:

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

$$K_2 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10}(311.819,962) = 0,3099$$

$d$ : calado de trazado según el convenio correspondiente a la línea de carga de verano (17,931 m).

$D$ : puntal de trazado en el centro del buque (30 m).

$N_1$ : número de pasajeros en camarotes de menos de 8 literas (0 ya que no es un buque de pasaje).

$N_2$ : número de pasajeros que el buque está autorizado a llevar (0 ya que no es un buque de pasaje).

Entonces:

$$NT = 0,3099 \times 311.819,962 \times \left(\frac{4 \times 17,931}{3 \times 30}\right)^2 + 0$$

$$NT = 61.371,89 \text{ toneladas}$$

Se debe cumplir, además, que:

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 < 1 \rightarrow 0,635 < 1 \rightarrow \text{Cumple!}$$

$$K_2 \times V_c \times \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 > 0,25 \times GT \rightarrow 61.371,89 > 40.580,24 \rightarrow \text{Cumple!}$$



## 4 BIBLIOGRAFÍA.

- “El proyecto básico del buque mercante”; R. Alvariño, J.J. Azpiroz y M. Meizoso; Fondo editorial de ingeniería naval, 1998.
- Apuntes de la asignatura “Proyectos del buque y artefactos marinos I”; V. D. Casas y B. P. Varela; Escuela Politécnica Superior (UDC),
- DNV.
- OMI, Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques 1969.
- Convenio Internacional sobre Líneas de Caraga de 1966 y Protocolo de 1988.

Ferrol, junio de 2022

Fdo.: Pedro Lemos González

## 5 ANEJO I: EXCEL DE COMPROBACIÓN DE CÁLCULOS.

### INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966/1988

Moulded Breadth (B)	60 m
Least Moulded Depth	30 m
85% Least Moulded Depth	25,5 m
Freeboard deck thickness at side	11 mm
Freeboard Depth (D)	30,011 m
Lenght of the waterline at 25,5 m of depth	320,597 m
Lenght betw. Perp. at 25,5 m of depth	325,04 m
Freeboard Lenght (L)	325,04 m
Volume without appendages at 25,5 m of depth	357057,3 61 m <sup>3</sup>
Block coefficient	0,718
Recess in freeboard deck, side to side, of <i>Upper line of the exposed deck is the freeboard deck</i>	0,3 m < 1m

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

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

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

<i>Table</i>	
<i>L</i>	<i>freeboard</i>
325	3345
326	3347

<i>L</i>	<i>freeboard</i>
325,04	3346

R-28	3346
------	------

<b>R-29 Correction for ships under 100 m in lenght</b>	<i>Not Applicable</i>
--	-----------------------

Effective lenght of superstructure (E)	0 m
Lenght of trunks	0 m
Effective lenght of superstructure (E1)	0 m

R-29	
------	--

<b>R-30 Correction for block coefficient</b>	<i>Applicable</i>
--	-------------------

R-28	3346
------	------



<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 lenght 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	45,000	20,000	45,000	0,000	

**R-37 Deduction for superstructures and trunks** *Applicable*

*Lenght of Superstructure*                      0 m  
*Lenght of Trunks*                                0 m  
*Effective Lenght ( E )*                         0 m  
*Effective Lenght ( E )*                         0 \*L  
 Deduction for 1L                                1070 mm

E	%
0	0
0	0
0	0

R-37	0
------	---

**R-38 Sheer** *Applicable*

<i>Standard Sheer Profile</i>					
<i>Station</i>	<i>Ordinate</i>	<i>Factor</i>	<i>Product</i>		
After perpendicular	2959	1	2959		
1/6 L from A.P.	1314	3	3942		
1/3 L from A.P.	331	3	993		
Amidships	0	1	0		
Amidships	0	1	0		
1/3 L from A.P.	663	3	1989		
1/6 L from A.P.	2627	3	7881		
Forward perpendicular	5917	1	5917		
				After Sheer	7894
				Forward Sheer	15787

<i>Sheer Profile</i>
----------------------

PETROLERO VLCC DE 300.000 TPM  
 CUADERNO IX: FRANCOBORDO Y ARQUEO

PEDRO LEMOS GONZÁLEZ

Station	Ordinate	Sum for Le=L	Total	Factor	Product	
After perpendicular	0	0	0	1	0	
1/6 L from A.P.	0	0	0	3	0	
1/3 L from A.P.	0	0	0	3	0	
Amidships	0	0	0	1	0	After Sheer 0
Amidships	0	0	0	1	0	
1/3 L from F.P.	0	0	0	3	0	
1/6 L from F.P.	0	0	0	3	0	
Forward perpendicular	0	0	0	1	0	Forward Sheer 0

Forward and After corrections for Sheer be allowed

Corrected After Product  
 Difference -7894  
 Corrected Forward Product  
 Difference -15787

Sheer credit for poop or forecastle

	Real	Standard	Difference	s
Forecastle	0	2300	-2300	-383
Poop	0	2300	-2300	-383

After Sheer variation -1370  
 Forward Sheer  
 variation -2356  
 Sheer variation -1863

Total length of enclosed superstructures (S1) 0,000 m  
 Extension in midships of superstructures (over  
 L) 0 \*L

Factor 0,75 Correctio  
 1398 mm

Freeboard correction 1398 mm

R-38 1398

R-39.1 Minimum bow height Applicable

Waterplane area forward of L/2 at draught d1  
 (A<sub>wf</sub>) 8966,61 m<sup>2</sup>

L 325,04 d1 25,5  
 B 60 Cb 0,718

	Cwf	0,9195	
Minimum bow height (Fb)	5981 mm		
Bow depth corrected for R39	30,011 m		
Minimum bow height freeboard	5981 mm		
Salt water freeboard	6924 mm		R-39.1 0

**R-39.2 Reserve of bouyancy** Not Applicable

F0	3346 mm		
f1	1,0279		
f2	2086 mm		
fmin	5526 mm		
Minimum projected area		m2	
Actual projected area	110,45 m2		
Freeboard correction	0 mm		R-39.2 0

**R-40 Minimum freeboards** Applicable

Minimum freeboard without R-32	4839,44 mm														
R-28	3346 mm	Freeboard in Salt Water	6924 mm												
R-29	mm														
R-30	94 mm	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Minimum Summer Freeboard</i></td> <td style="text-align: right;">10346 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Maximum Summer Draught</i></td> <td style="text-align: right;">19665 mm</td> </tr> </table>		<i>Minimum Summer Freeboard</i>	10346 mm	<i>Maximum Summer Draught</i>	19665 mm								
<i>Minimum Summer Freeboard</i>	10346 mm														
<i>Maximum Summer Draught</i>	19665 mm														
R-31	2086 mm														
R-32.1	mm														
R-37	0 mm	Maximum Scantling Draught	22000 mm												
R-38	1398 mm	Maximum Stability Draught	19665 mm												
<b>Sum</b>	<b>6924 mm</b>														
R-39.1	0 mm	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Summer Freeboard</b></td> <td style="text-align: right;"><b>10346 mm</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Summer Draught</b></td> <td style="text-align: right;"><b>19665 mm</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Tropical Freeboard</b></td> <td style="text-align: right;"><b>9932 mm</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Winter Freeboard</b></td> <td style="text-align: right;"><b>10756 mm</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Winter N. Atlantic Freeboard</b></td> <td style="text-align: right;"><b>10756 mm</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Fresh Water</b></td> <td style="text-align: right;"><b>10301 mm</b></td> </tr> </table>		<b>Summer Freeboard</b>	<b>10346 mm</b>	<b>Summer Draught</b>	<b>19665 mm</b>	<b>Tropical Freeboard</b>	<b>9932 mm</b>	<b>Winter Freeboard</b>	<b>10756 mm</b>	<b>Winter N. Atlantic Freeboard</b>	<b>10756 mm</b>	<b>Fresh Water</b>	<b>10301 mm</b>
<b>Summer Freeboard</b>	<b>10346 mm</b>														
<b>Summer Draught</b>	<b>19665 mm</b>														
<b>Tropical Freeboard</b>	<b>9932 mm</b>														
<b>Winter Freeboard</b>	<b>10756 mm</b>														
<b>Winter N. Atlantic Freeboard</b>	<b>10756 mm</b>														
<b>Fresh Water</b>	<b>10301 mm</b>														
R-39.2	0 mm														
<b>Sum</b>	<b>6924 mm</b>														
R-32	0 mm														
Displacement at 19,665 m	322593 ton														
TPCM at 19,665 m	178,924 ton/cm														