



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2020/2021

PETROLERO (TANQUE CRUDOS) 250000 TPM

GENO-2020-02

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Minerva Rivas Cabanas

TUTORAS/ES

Raúl Villa Caro

FECHA

JUNIO 2021

1 TÍTULO Y RESUMEN

1.1 Castellano

El buque que se proyectará en este trabajo es uno para el transporte de un gran volumen de crudo, un petrolero de crudo VLCC, cuya característica principal es su capacidad de carga máxima de 275000 toneladas de peso muerto, según la RPA. En estos cuadernos se recoge el proceso completo de diseño, construcción y evaluación económica desarrollado para la obtención de dicho buque.

1.2 Galego

O buque que se proxecta neste traballo é un para o transporte dun gran volume de crudo, un petroleiro de crudo VLCC, cuxa característica principal é a súa capacidade de carga máxima, dada pola RPA, 275000 toneladas de peso morto. Nestes cadernos recóllese o proceso completo de diseño, construción e avaliación económica desenrolado para a obtención de dito buque.

1.3 English

The ship that will be projected in this work is one for the transport of a large volume of crude, a very large crude oil tanker (VLCC), whose main characteristic is its maximum load capacity of 275,000 deadweight tons, according to the PAR. These notebooks collect the complete process of design, construction and economic evaluation developed to obtain the mentioned ship.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/2021**

PETROLERO (TANQUE CRUDOS) 250000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 9:

FRANCOBORDO Y ARQUEO



**SIMULTANEIDAD DE GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA E
INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: Petrolero (tanque de crudos)

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 275000 toneladas de peso muerto

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15.5 nudos en condiciones de servicio. 20000 millas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas para carga y descarga de tanques.

PROPULSIÓN: Motor diésel acoplado a una hélice de paso fijo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 36 personas distribuidas en camarotes individuales y dobles.

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

Ferrol, 04 de Octubre de 2020

ALUMNO/A: **D^a Minerva Rivas Cabanas**

CONTENIDO

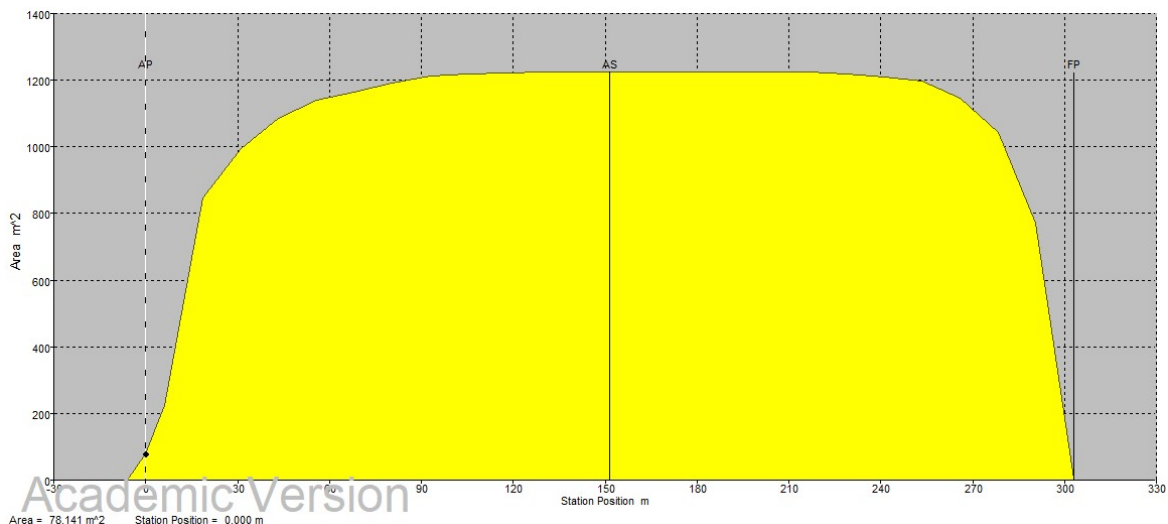
- 1 Título y Resumen 1
 - 1.1 Castellano 1
 - 1.2 Galego 1
 - 1.3 English 1
- Contenido 1
- 2 Introducción 2
- 3 Cálculo del francobordo 3
 - 3.1 Parámetros 3
 - 3.2 Francobordo tabular 5
 - 3.3 Correcciones 5
 - 3.4 Francobordo mínimo reglamentario 8
 - 3.5 Francobordo de verano 8
 - 3.6 Francobordo tropical 8
 - 3.7 Francobordo de invierno 9
 - 3.8 Francobordo para el Atlántico Norte en invierno 9
 - 3.9 Francobordo para agua dulce 9
 - 3.10 Francobordo agua dulce tropical 10
 - 3.11 Altura mínima de proa 10
- 4 Arqueo 12
 - 4.1 Arqueo bruto 12
 - 4.2 Arqueo neto 13
- 5 Bibliografía 15
- 6 Anexo I: Comprobación cálculos francobordo excel 16

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es realizar los cálculos de francobordo mínimo reglamentario, que aporta seguridad limitando el calado máximo del buque, así como la altura mínima en proa, siguiendo para ello el “Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988”.

También se ha de desarrollar el cálculo del arqueo del buque, que indica el tamaño de este y se utiliza como base para la determinación de otras características del buque y para la aplicación de tarifas en puertos, canales, etc.; empleando para ello el “Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969”.

L total (m)	309.05
Lpp (m)	302.9
Manga (m)	56.5
Puntal (m)	29.4
Calado (m)	21.9
Cb	0.865
Cm	0.989
Cp	0.875
Cwp	0.934
Δ (t)	339242
TPM	275000
BHP (kW)	37680
Superficie mojada (m²)	27623.15
Superficie flotación (m²)	16302.609
Velocidad (nudos)	15.5
Peso en Rosca (t)	46496
Volumen (m³)	330967.495



3 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

Según el mencionado Convenio Internacional de Líneas de Carga, 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 de cierre y bajo la que las aberturas están dotadas de cierres estancos.

La principal función del Convenio Internacional de Líneas de Carga 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 anexo 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 señalarse a cada costado, en el centro del buque, junto a la línea de cubierta.

Durante el desarrollo del cuaderno I se ha llevado a cabo un cálculo preliminar de Francobordo para estudiar la viabilidad del buque con las dimensiones calculadas. En este cuaderno se pretende hacer un estudio más detallado, con valores definidos.

A efectos de francobordo, los buques se clasifican en dos tipos fundamentales:

- TIPO A: buque proyectado 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: todo aquel buque que no cumple las características del otro tipo.

Entonces, el buque proyectado, según el reglamento, es de Tipo A.

3.1 Parámetros

Siguiendo el reglamento,

3.1.1.1 Eslora de francobordo

Se toma el mayor de los valores entre,

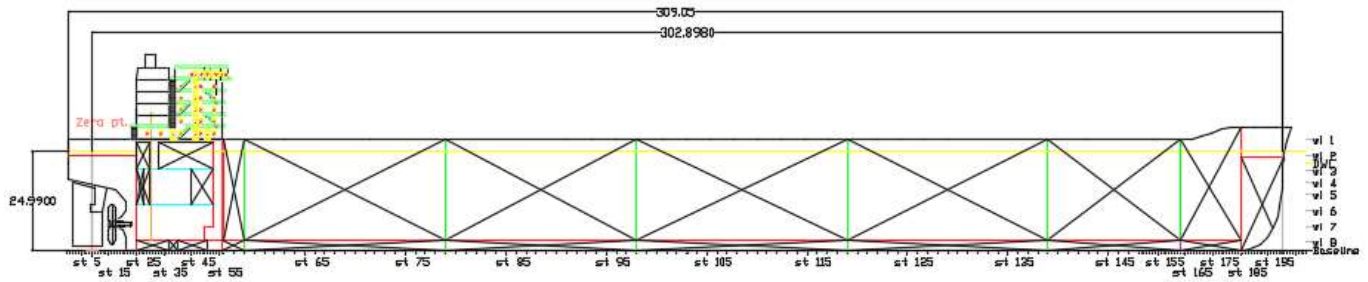
- El 96% de la eslora total desde el extremo de la roda hasta el extremo del codaste en una flotación al 85% del puntal mínimo de trazado,

$$T = 85\% D = 0.85 * 29.4 = 24.99 \text{ m}$$

$$L_{85\%D} = 309.05 * 0.96 = 296.69 \text{ m}$$

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

$$L_{Roda-mecha} = 302.9 \text{ m}$$



Por lo tanto,

$$L = 302.9 \text{ m}$$

3.1.1.2 Manga de francobordo

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

$$B = 56.5 \text{ m}$$

3.1.1.3 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 $t = 11 \text{ mm}$.

$$D_{FB} = 29.4 + 0.011 = 29.411 \text{ mm}$$

3.1.1.4 Coeficiente de bloque

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

$$C_B = \frac{\nabla}{L * B * 85\%D} = \frac{330967.495}{302.9 * 56.5 * 24.99} = 0.774$$

$$C_B = 0.774$$

3.1.1.5 Cubierta de francobordo

La cubierta de francobordo es, normalmente, 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 caso proyectado, la cubierta de francobordo se corresponde con la cubierta principal, situada a 27.98 m sobre la línea de base.

3.1.1.6 Superestructura

Se denomina superestructura a toda construcción dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extienda de banda a banda o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga. En el caso estudiado, solo se coloca una estructura a popa cuya separación del forro del costado es superior al 4% de la manga ($0.04 * 56.5 = 2.26 \text{ m}$), por lo tanto, esta es considerada caseta y no superestructura.

El buque proyectado dispondrá entonces de una única superestructura, el castillo de proa.

3.2 Francobordo tabular

Según la Regla 27 del Convenio para el cálculo de francobordo, el buque aquí expuesto se corresponde con uno de tipo A, como ya ha sido justificado con anterioridad.

El francobordo tabular, según la Regla 28, es función directa del tipo de buque y su eslora, por lo que su 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 de 302.9 m,

<i>Table</i>	
<i>L</i>	<i>freeboard</i>
302	3270
303	3274

<i>L</i>	<i>freeboard</i>
302,9	3274

$$FB_{tab} = 3274 \text{ mm}$$

A este francobordo tabular se le aplican diversas correcciones descritas a continuación.

3.3 Correcciones

3.3.1.1 Corrección por eslora menor a 100 m

Tan solo se aplica a buques tipo B de eslora menor a 100 m. Por lo tanto, en este caso no procede.

3.3.1.2 Corrección por Coeficiente de Bloque

La regla 30 del Convenio indica que cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0.68, el francobordo tabular especificado en la Regla 28, se ha de multiplicar por el factor,

$$C_1 = \frac{Cb + 0.68}{1.36} = 1.069$$

3.3.1.3 Corrección por puntal

En caso de que el puntal D exceda de $L/15$,

$$D = 29.411 \text{ m} > \frac{L}{15} = 20.193 \text{ m}$$

el francobordo deberá ser aumentado en,

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

Donde,

- $R = L/0.48$ si $L < 120 \text{ m}$.
- $R = 250$ si $L > 120 \text{ m}$.

Se aplica una corrección de,

$$C_2 = \left(29.411 - \frac{302.9}{15} \right) * 250 = 2304.42$$

3.3.1.4 Corrección por superestructuras

En el caso planteado, como ya ha sido mencionado, a efectos de cálculos de francobordo solo se considera el castillo de proa.

$$Reducción = De * porcentaje$$

- $De = 1070 \text{ mm}$ por ser la eslora del buque a proyectar superior a 122 m.

El castillo de proa consta de 25.180 m de eslora y 2.72 m de puntal, además, ocupa toda la manga del buque.

Se entra en la tabla 37.1 del Convenio de Líneas de Carga para obtener el porcentaje de reducción que será aplicado sobre el valor de 1070 mm.

$$E = \frac{l \text{ superestructura}}{L} = \frac{25.180}{302.9} = 0.0831$$

E	%
0	0
0,0831	5,8
0,1	7

Entonces,

$$C_3 = Reducción = 1070 * 0.058 = 62.06$$

3.3.1.5 Corrección por arrufo

Siguiendo la Regla 38 del Convenio de Líneas de Carga, 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, dados en la tabla de ordenadas.

La diferencia entre la suma de los productos así obtenidos y la de los productos correspondientes al 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 proyectado se recogen en la siguiente tabla (L en metros),

Standard Sheer Profile				
Station	Ordinate	Factor	Product	
After perpendicular	2774	1	2774	
1/6 L from A.P.	1232	3	3696	
1/3 L from A.P.	311	3	933	
Amidships	0	1	0	
Amidships	0	1	0	
1/3 L from A.P.	621	3	1863	
1/6 L from A.P.	2463	3	7389	
Forward perpendicular	5548	1	5548	
			After Sheer	7403
			Forward Sheer	14800

El buque trazado 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	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

Por lo tanto, en comparación con el arrufo normal, 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	-7403
Corrected Forward Product Difference	-14800

La corrección por arrufo es el defecto de arrufo calculado anteriormente, multiplicado por el factor siguiente,

$$0.75 - \frac{S}{2L}$$

Donde,

- S es la longitud total de la superestructura.

En popa, no se presenta superestructura, pero,

$$S = \frac{y * L'}{3 * L}$$

Donde,

$$y = \text{altura real} - \text{altura normal} = 0 - 2300 = -2300 \text{ mm}$$

$$L' = 0 \text{ m}$$

Entonces,

$$S = \frac{-2300 * 0}{3 * 302.9} = 0$$

$$D_{\text{arrufo_popa}} = 0.75 * \frac{-7403}{8} = 0.75 * -925.375 = -693.75$$

En proa,

$$S = \frac{y * L'}{3 * L}$$

Donde,

$$y = \text{altura real} - \text{altura normal} = 2720 - 2300 = 420 \text{ mm}$$

$$L' = 25.180 \text{ m}$$

Entonces,

$$S = \frac{420 * 25.180}{3 * 302.9} = 11.64$$

La corrección por arrufo en proa se puede calcular como,

$$D_{arr \text{ proa}} = \left(0.75 - \frac{S}{2L}\right) * \left(\frac{-14800}{8} + 11.64\right)$$

$$D_{arrufo \text{ proa}} = \left(0.75 - \frac{11.64}{2 * 302.9}\right) * (-1838.36) = -1355.22$$

La corrección final por arrufo será la media de las dos obtenidas previamente,

$$C_4 = D_{arrufo} = \left(0.75 - \frac{25.180}{2 * 302.9}\right) * \left(\frac{925.37 + 1838.81}{2}\right) = 979.12 \text{ mm}$$

3.4 Francobordo mínimo reglamentario

Se obtiene mediante la aplicación de las correcciones obtenidas con anterioridad al francobordo tabular,

$$FB = (FB_{tab} * C_1) + C_2 - C_3 + C_4 = (3274 * 1.069) + 2304.42 - 62.02 + 979.12$$

$$FB = 6721.426 \text{ mm}$$

3.5 Francobordo de verano

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

$$FB_{verano} = 6721.426 \text{ mm}$$

Se puede obtener también el calado de verano,

$$T_{verano} = D_{FB} - FB_{verano} = 29.411 - 6.721 = 22.69 \text{ m}$$

Debido a que la condición de carga más limitante es, salida de puerto del buque a plena carga, y su calado es de 21.15 m, se tomará esta, ya que nunca se operará por encima de este calado. Estos datos son resultado del desarrollo del cuaderno V.

Entonces, el francobordo y calado de verano final son,

$$FB_{verano} = 8261 \text{ mm}$$

$$T_{verano} = 21150 \text{ mm}$$

3.6 Francobordo tropical

Para la obtención del francobordo mínimo en la zona tropical,

$$FB_{tropical} = FB_{verano} - \left(\frac{T_{verano}}{48}\right)$$

$$FB_{tropical} = 8261 - \left(\frac{21150}{48}\right) = 7820.37 \text{ mm}$$

Mientras que el calado en la zona tropical es de,

$$T_{tropical} = D_{FB} - FB_{tropical} = 29.411 - 7.820 = 21.591 \text{ m}$$

3.7 Francobordo de invierno

Este viene dado por la siguiente expresión,

$$FB_{invierno} = FB_{verano} + \left(\frac{T_{verano}}{48}\right)$$

$$FB_{invierno} = 8261 + \left(\frac{21150}{48}\right) = 8701.625 \text{ mm}$$

Mientras que el calado en esta estación será,

$$T_{invierno} = D_{FB} - FB_{invierno} = 29.411 - 8.701 = 20.71 \text{ m}$$

3.8 Francobordo para el Atlántico Norte en invierno

Los buques de eslora superior a 100 m dispondrán de un francobordo mínimo para el Atlántico Norte en invierno igual al francobordo de invierno,

$$FB_{AtlánticoNorte_invierno} = 8701.625 \text{ mm}$$

$$T_{AtlánticoNorte_invierno} = 20.71 \text{ m}$$

3.9 Francobordo para agua dulce

El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtiene restando del francobordo mínimo de agua salada.

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

Donde,

- Δ es el desplazamiento al calado de verano de 21.15 m.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	326327	t
2	Volume (displaced)	318368,063	m³
3	Draft Amidships	21,150	m
4	Immersed depth	21,157	m
5	WL Length	309,005	m
6	Beam max extents on WL	56,500	m
7	Wetted Area	27081,159	m²
8	Max sect. area	1181,621	m²
9	Waterpl. Area	16256,739	m²

$$\Delta = 326327 \text{ t}$$

- TPC son las toneladas por centímetro de inmersión.

26	Immersion (TPC)	166,632	tonne/cm
27	MTc	3973,652	tonne.m
28	RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1)	135475,725	tonne.m

$$TPC = 166.632 \text{ t/cm}$$

El francobordo queda,

$$FB_{agua\ dulce} = 8261 - \left(\frac{326327}{40 * 166.632} \right)$$

$$FB_{agua\ dulce} = 8212.04\ mm$$

El calado será,

$$T_{agua\ dulce} = D_{FB} - FB_{agua\ dulce} = 29.411 - 8.212 = 21.199\ m$$

3.10 Francobordo agua dulce tropical

Este se obtiene utilizando la siguiente expresión,

$$FB_{AD\ tropical} = FB_{aguadulce} - \left(\frac{T_{aguadulce}}{48} \right)$$

$$FB_{AD\ tropical} = 8212.04 - \left(\frac{21199}{48} \right) = 7770.39\ mm$$

Con un calado de,

$$T_{AD\ tropical} = D_{FB} - FB_{AD\ tropical} = 29.411 - 7.770 = 21.641\ m$$

3.11 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 la actual versión del Convenio Internacional de Líneas de Carga, la expresión empleada para hallar dicha altura mínima en la proa, en mm, es,

$$FB = \left(6075 * \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 * \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 * \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) * (2.08 + 0.609 * Cb - 1.603 * Cwf - 0.0129 * \frac{L}{d_1})$$

Donde,

- L es la eslora de francobordo, 302.9 m.
- Cb es el coeficiente de bloque calculado con anterioridad, 0.774.
- B es la manga de trazado, 56.5 m.
- d_1 es el calado al 85% del puntal, 24.99 m.
- Cwf es el coeficiente de la flotación a proa de L/2,

$$Cwf = \frac{Awf}{B * \frac{L}{2}}$$

Donde,

- Awf es el área de la flotación a proa de L/2 para el calado d_1 .

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	390691	t
2	Volume (displaced)	381161,679	m ³
3	Draft Amidships	24,990	m
4	Immersed depth	24,997	m
5	WL Length	309,535	m
6	Beam max extents on WL	56,490	m
7	Wetted Area	29740,099	m ²
8	Max sect. area	1398,562	m ²
9	Waterpl. Area	16457,293	m ²

$$Awf = 16457.293 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$Cwf = \frac{\left(\frac{16457.293}{2}\right)}{56.5 * \frac{302.9}{2}} = 0.962$$

$$FB = \left(6075 * \left(\frac{302.9}{100}\right) - 1875 * \left(\frac{302.9}{100}\right)^2 + 200 * \left(\frac{302.9}{100}\right)^3\right) * (2.08 + 0.609 * 0.774 - 1.603 * 0.962 - 0.0129 * \frac{302.9}{24.99})$$

$$FB = 5762.7 \text{ mm}$$

Con la altura mínima de proa se puede obtener el calado máximo permitido en este convenio en la perpendicular de proa,

$$T_{m\acute{a}x} = D_{FB} - FB = 29.411 - 5.762 = 23.649$$

Este calado es superior al calado en el centro del buque y según el criterio es el que se debe proyectar en la Ppr para ver si se cumple la altura mínima en esta.

- Altura mínima exigida por la norma: 5762.7 mm.
- Altura en proa proyectando el T de verano en Lpp/2, 29411 – 21150 = 8261 mm.

Por lo tanto, se cumple con la altura mínima del buque en la proa.

4 ARQUEO

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

Como el buque proyecta se trata de un petrolero de crudo, el arqueo será calculado siguiendo el reglamento del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969.

Previamente al desarrollo del ejercicio, debe ser definido el concepto de “espacio cerrado”, 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 movibles.

En el buque trazado se consideran espacios cerrados,

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

4.1 Arqueo bruto

Siguiendo el Convenio anteriormente citado, la Regla 3, identifica el cálculo de arqueo bruto (GT) como,

$$GT = K_1 * V$$

Donde,

- V es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en metros cúbicos.
- K1 está definida como,

$$K_1 = 0.2 + 0.02 * \log_{10}(V)$$

El volumen bajo la cubierta principal, a 27.98 m sobre la línea de base, se obtiene mediante el uso de Maxsurf,

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	440747	t
2	Volume (displaced)	429996,726	m ³
3	Draft Amidships	27,980	m

Se obtiene que el volumen del casco es de 429996.726 m^3 .

El volumen de las estructuras sobre la cubierta principal se obtiene del desarrollo del Cuaderno VII,

$$V_{\text{habilitación y puente}} = 8999.64 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{guardacalor}} = 2248.15 \text{ m}^3$$

Entonces,

$$V = 441244.51 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el arqueo bruto queda como,

$$GT = (0.2 + 0.02 * \log_{10}(V)) * V$$

$$GT = (0.2 + 0.02 * \log_{10}(441244.51)) * 441244.51$$

$$\mathbf{GT = 138062.58 toneladas}$$

$$K_2 = 0.31$$

- d es el calado de trazado que según el Convenio será el calado correspondiente a la línea de carga de verano, como ha sido definido, 21.15 m.
- D es el puntal de trazado en el centro del buque, 29.4 m.
- N_1 es el número de pasajeros en camarotes de menos de 8 literas, 0 ya que este no es un buque de pasaje.
- N_2 es el número de pasajeros que el buque está autorizado a llevar, 0 ya que este no es un buque de pasaje.

Entonces,

$$NT = 0.31 * 316508.171 * \left(\frac{4 * 21.15}{3 * 29.4} \right)^2 + 0$$

$$NT = 90271.4 \text{ toneladas}$$

Además, siguiendo el Convenio, se debe cumplir que,

$$\left(\frac{4d}{3D} \right)^2 < 1 \rightarrow 0.92 < 1 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$K_2 * V_c * \left(\frac{4d}{3D} \right)^2 > 0.25 * GT \rightarrow 90271.4 > 34515.65 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Alvariño, J. J. Azpiroz y M. Meizoso, El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo editorial de ingeniería naval, 1998.
- [2] V. D. Casás y B. P. Varela, Asignatura: "Proyectos de buques y artefactos marinos I", Ferrol: Escuela Politécnica Superior, UDC, 2020/2021.
- [3] V. D. Casás y B. P. Varela, Proyectos del buque y artefactos marinos II, Ferrol: Escuela Politécnica Superior, 2020/2021.
- [4] DNVGL-RU-SHIP, Rudders and steering DNVGL-RU-SHIP, 2018.
- [5] OMI, *Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques 1969*.
- [6] D. G. d. I. M. M. d. F. *Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988*.

6 ANEXO I: COMPROBACIÓN CÁLCULOS FRANCOBORDO EXCEL

INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966/1988

Moulded Breadth (B) 56,5 m
 Least Moulded Depth 29,4 m
 85% Least Moulded Depth 24,99 m
 Freeboard deck thickness at side 11 mm
 Freeboard Depth (D) 29,411 m

Lenght of the waterline at 24,99 m of depth 309,05 m
 Lenght betw. Perp. at 24,99 m of depth 302,9 m

Freeboard Lenght (L) 302,9 m

Volume without appendages at 24,99 m of depth 330967,495 m³

Block coefficient 0,7739

Recess in freeboard deck, side to side, of 0,3 m < 1m
 Upper line of the exposed deck is the freeboard deck

R-27 Types of ships *Applicable*

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

R-28 Tabular Freeboard *Applicable*

Table		L		freeboard	
L	freeboard	L	freeboard		
302	3270	302,9	3274		
303	3274			R-28	3274

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

Effective lenght of superstructure (E) 25,18 m
 Lenght of trunks 0 m
 Effective lenght of superstructure (E1) 25,18 m

R-29

R-30 Correction for block coefficient *Applicable*

R-28	3274	Factor	1,069	R-30	226
R-29					
freeboard	3274				

R-31 Correction for depth *Applicable*

Enclosed superstructure lenght m < 0,6*L
 Height of superstructure m
 Standard Height 2,3 m

R 250 Standard Height correction 0
 Correction 2305

R-31 2305

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 m³
 Waterplane area at 24,99 m draft m²

R-32.1

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

Raised quarterdeck	All Other superstructures
2,7	2,3

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

Superstructure	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)
Forecastle center	25,180	56,500	56,500	2,720	25,180
Poop				2,300	

Raised quarterdeck	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)

R-36 Effective lenght of trunks (in m) *Applicable*

Trunk	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)
Centre	45,000	20,000	45,000	0,000	

R-37 Deduction for superstructures and trunks *Applicable*

Lenght of Superstructure 25,18 m
 Lenght of Trunks 0 m
 Effective Lenght (E) 25,18 m
 Effective Lenght (E) 0,0831 *L
 Deduction for 1L 1070 mm

Table 37.1	
E	%
0	0
0,0831	5,8
0,1	7

R-37 -63

R-38 Sheer *Applicable*

Standard Sheer Profile			
Station	Ordnate	Factor	Product
After perpendicular	2774	1	2774
1/6 L from A.P.	1232	3	3696
1/3 L from A.P.	311	3	933
Amidships	0	1	0
Amidships	0	1	0
1/3 L from A.P.	621	3	1863
1/6 L from A.P.	2463	3	7389
Forward perpendicular	5548	1	5548
			After Sheer 7403
			Forward Sheer 14800

Sheer Profile					
Station	Ordnate	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
					Forward Sheer

Forward and After corrections for Sheer be allowed

Corrected After Product Difference -7403
 Corrected Forward Product Difference -14800

Sheer credit for poop or forecastle

	Real	Standard	Difference	s
Forecastle	2720	2300	420	12
Poop	2300	2300	0	0

After Sheer variation -925,37
 Forward Sheer variation -1838,36
 Sheer variation -1381

Total length of enclosed superstructures (S1) 25,180 m
 Extension in midships of superstructures (over L) 0 *L

Factor 0,7084 Correction 979 mm

Freeboard correction 979 mm

R-38 979

R-39.1 Minimum bow height *Applicable*

Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (Awf) 8228,65 m2

L 302,9 d1 24,99
 B 56,5 Cb 0,7739
 Cwf 0,9616

Minimum bow height (Fb) 5767 mm

Bow depth corrected for R39 29,411 m
 Minimum bow height freeboard 5767 mm
 Salt water freeboard 6721 mm

R-39.1 0

R-39.2 Reserve of buoyancy *Not Applicable*

F0 3274 mm
 f1 1,089
 f2 2305 mm
 fmin 5805 mm

Minimum projected area m2
 Actual projected area 110,45 m2
 Freeboard correction 0 mm

R-39.2 0

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

Minimum freeboard without R-32		6721,426 mm			
R-28	3274 mm		Freeboard in Salt Water	6721,426 mm	
R-29	mm				
R-30	226 mm				
R-31	2305 mm				
R-32.1	mm				
R-37	-63 mm		Maximun Scantling Draught	21900 mm	
R-38	979 mm		Maximun Stability Draught	21150 mm	
Sum	6721 mm				
R-39.1	0 mm				
R-39.2	0 mm				
Sum	6721 mm				
R-32	0 mm				

Summer Freeboard	8261 mm
Summer Draught	21150 mm
Tropical Freeboard	8261 mm
Winter Freeboard	8702 mm
Winter N. Atlantic Freeboard	8702 mm
Fresh Water	8213 mm