



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2021/2022

ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY VESSEL. 200 TPF.

CUADERNO 9: FRANCOBORDO Y ARQUEO.

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Raúl Fernández Garda

TUTORAS/ES

Marcos Míguez González

FECHA

Septiembre 2022

RESUMEN TFG. BUQUE DE APOYO A INSTALACIONES OFFSHORE.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo principal la realización de un anteproyecto de un buque AHTS. Estos buques se construyen principalmente para servir de apoyo a las plataformas petrolíferas, asegurándolas en su ubicación mediante anclas. También pueden desarrollar otras funciones como proporcionar suministros, prestar servicio de remolque, transportar personas y realizar operaciones de inspección subacuática mediante un ROV.

Además, nuestro buque cuenta con sistemas FIFI I para la lucha contra incendios, un sistema de posicionamiento dinámico DP2 para poder llevar a cabo sus operaciones de anclaje en unas condiciones meteorológicas adversas. Para poder conseguir este nivel de posicionamiento contamos con dos propulsores pods de transmisión eléctrica y tres thrusters de túnel.

Podemos considerar este tipo de buques como una de esas creaciones que no solo ayudan al crecimiento de la industria offshore, sino que a su vez ayudan a prevenir situaciones peligrosas en el mar.

RESUMO

O principal obxectivo deste proxecto é levar a cabo un anteproxeito dun buque AHTS. Estes buques están construídos principalmente para servir de apoio ás plataformas petrolíferas, fixándoas no seu lugar con áncoras. Tamén poden realizar outras funcións como proporcionar suministros, servizo de remolque, transporte de persoas e realizar operacións de inspección subacuática mediante un ROV.

Ademais, o noso buque conta con sistemas FIFI I para a loita contra incendios, un sistema de posicionamento dinámico DP2 para poder realizar as súas operacións de ancoraxe en condicións meteorolóxicas adversas. Para acadar este nivel de posicionamento, temos dous propulsores pods accionados eléctricamente e tres propulsores de túnel.

Podemos considerar este tipo de buques como unha desas creacións que non só axudan a crecer á industria offshore, senón que tamén axudan a previr situacións perigosas no mar.

SUMMARY

The main objective of this project is to carry out a preliminary project for an AHTS vessel. These vessels are built primarily to support oil rigs, securing them in place with anchors. They can also perform other functions such as providing supplies, providing towing service, transporting people and perform underwater inspection operations using a ROV.

In addition, our ship has FIFI I system for fire fighting, a DP2 dynamic positioning system to be able to carry out its anchoring operations in adverse weather conditions. In order to achieve this level of positioning we have two electrically driven pods and three tunnel thrusters.

We can consider this type of vessels as one of those developments that not only helps the offshore industry grow, but also prevents dangerous situations at sea.

REQUISITOS RPA. BUQUE DE APOYO A INSTALACIONES OFFSHORE.



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.021 - 2.022

PROYECTO NÚMERO: 2022-GENO-3.

TIPO DE BUQUE: Anchor handling tug supply vessel (AHTS).

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:

DNV GL, SOLAS y MARPOL. AHTS, DK, E0, DPS 2, F(M), FIFI I.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Material de fondeo, abastecimiento a plataformas petrolíferas y capacidad de remolque. 200 TPF.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: velocidad de servicio de 15 kn y una autonomía de 4000 mn a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los habituales en este tipo de buques.

PROPULSIÓN: Diésel-eléctrica. Propulsión de tipo pod.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 20 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:

- Sistema de recuperación y lanzamiento de un ROV.

Ferrol, septiembre 2022

ALUMNO/A: **D. Raúl Fernández Garda**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2021/2022

ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY VESSEL. 200 TPF.

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO IX

Francobordo y arqueo

Raúl Fernández Garda

Índice

Resumen TFG. Buque de apoyo a instalaciones offshore.....	2
Requisitos RPA. Buque de apoyo a instalaciones offshore.	3
Resumen de las características principales del buque	6
Introducción	7
1 Cálculo del francobordo.	8
1.1 Introducción. Normativa aplicable. Características principales.....	8
1.2 Cálculo de parámetros iniciales.	9
1.3 Cálculo del francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga.	10
1.3.1 Regla 28. Cálculo del francobordo tabular.	10
1.4 Corrección del francobordo tabular.	11
1.4.1 Regla 29. Corrección por eslora.	11
1.4.2 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque.....	11
1.4.3 Regla 31. Corrección por puntal.	11
1.4.4 Regla 32. Corrección por posición de la línea de cubierta.	12
1.4.5 Regla 33. Altura normal de la superestructura.	12
1.4.6 Regla 34. Longitud de las superestructuras.....	12
1.4.7 Regla 35. Longitud efectiva de superestructuras.	12
1.4.8 Regla 36. Troncos.	12
1.4.9 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos.....	13
1.4.10 Regla 38. Corrección por arrufo.....	13
1.4.11 Regla 39. Altura mínima en proa y flotabilidad de reserva.	15
1.4.12 Regla 40. Francobordos mínimos.	17
1.5 Resumen de francobordos y calados.....	18
1.6 Conclusiones.	20
1.6.1 Regla 6. Líneas que se usarán con la marca de francobordo.	20
2 Cálculo del arqueo.	22
2.1 Introducción. Normativa aplicable. Características principales.....	22
2.2 Arqueo bruto.	23
2.3 Arqueo neto.	23

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE

Las dimensiones principales de nuestro buque son las obtenidas en los Cuaderno I, II y III.

TPF	200
BHP / kW	27.952 CV / 20.844 kW
L	79,00 m
B	21,40 m
T	8,19 m
D	9,10 m
Cb	0,704
CM	0,986
CP	0,714
Fn	0,277
Δ	11.633,80 t

INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno vamos a realizar el cálculo de francobordo y arqueo de nuestro buque de proyecto. Para ello seguiremos los dos convenios principales.

- Cálculo del francobordo y determinación de la cubierta de francobordo: utilizaremos el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1986 y protocolo de 1988. Dicho Convenio establece dos categorías de buques, las cuales se exponen a continuación:
 - Buque tipo “A”: aquel proyectado para transportar cargas líquidas a granel, y en el cual los tanques de carga tienen sólo pequeñas aberturas cerradas por tapas estancas.
 - Buque tipo “B”: aquellos que no cumplen con lo indicado para los de tipo A. Pueden tener un aumento o reducción del francobordo tubular en función de su grado de seguridad.
- Cálculo del arqueo: utilizaremos el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969. Dicho Convenio tendrá por objeto establecer una serie de normas para determinar el tamaño total de un buque, embarcación o artefacto naval (Arqueo bruto) y su capacidad utilizable (Arqueo neto).



1 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO.

1.1 Introducción. Normativa aplicable. Características principales.

Como se ha dicho en la introducción, para calcular el francobordo del buque de proyecto seguiremos el convenio internacional sobre líneas de carga, en el cual encontraremos los principios y reglas que limitan la inmersión de los buques con el objetivo de garantizar la propia seguridad de estos y de la tripulación.

Publicado en el BOE nº192 del 10 de agosto de 1968, Artículo nº3 – Disposiciones generales y Artículo nº4 - Esfera de aplicación y en MSC 77/26/Add.1 Anexo 3.

“Ningún buque sujeto a las disposiciones de dicho convenio podrá salir a la mar para realizar un viaje internacional si no ha sido inspeccionado, marcado y provisto de un Certificado internacional de francobordo o, cuando corresponda, de un certificado internacional de exención de francobordo. El presente convenio se aplicará a los siguientes buques:

- *Buques matriculados en países cuyo gobierno es un Gobierno contratante.*
- *Buques matriculados en aquellos territorios a los que en virtud del Artículo 32 del presente convenio se aplica este convenio.*
- *Buques no matriculados que lleven la bandera de un estado cuyo gobierno es un Gobierno contratante.*

También se aplicará dicho convenio a los buques que efectúen viajes internacionales y a buques de nueva construcción”.

Así mismo en el Artículo nº5 se expone la lista de excepciones a este convenio:

- *Buques de guerra.*
- *Buques nuevos de eslora inferior a 24 m.*
- *Los buques existentes de tonelaje inferior a 150 t.*
- *Los yates de recreo que no se dediquen a tráfico comercial.*
- *Los buques de pesca.*

Para la aplicación de este convenio, se definen una serie de reglas a partir de las cuales se determinarán las líneas de carga. Estas reglas suponen que la naturaleza y estiba de la carga, lastre etc., son adecuadas para asegurar una estabilidad suficiente del buque y evitar esfuerzos estructurales excesivos. Además, suponen también el cumplimiento de prescripciones internacionales relativas a estabilidad y compartimentado existentes.

El primer paso para realizar el cálculo del francobordo aplicando este convenio será comenzar con el cálculo previo de los parámetros a utilizar como son la eslora, puntal, calado, longitud de superestructuras y altura de superestructuras entre otros.

Pero antes de iniciar todo, ¿Qué es el francobordo? Se define el francobordo como la distancia vertical, medida en la sección media del buque desde el borde superior de la cubierta de francobordo en el costado hasta la flotación. La cubierta de francobordo es la cubierta continua 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 están dotadas de medios permanentes de cierres estancos.

El francobordo del buque condiciona lo siguiente:

- La reserva de flotabilidad del buque. Se trata del desplazamiento suplementario que el buque puede utilizar en caso de pérdida de carena por una inundación. El cumplimiento de los criterios de estabilidad para las distintas condiciones de carga del Cuaderno 5 está muy ligado con la reserva de flotabilidad.
- La altura de la cubierta como plataforma de trabajo de la tripulación respecto a la superficie del mar. Esto condiciona la seguridad de esta en condiciones de mala mar, supone para el buque la limitación del calado máximo en navegación.

El cálculo del francobordo se realizará en dos etapas:

- Determinación del francobordo tabular en función del tipo de buque y de la eslora. Este francobordo tabular corresponde al que se considera adecuado para un buque cuyas características correspondan a las del buque base.
- Aplicación de correcciones al francobordo tabular en función de las diferencias entre el buque real (buque proyecto) y el buque base.

Las correcciones que se aplicarán al francobordo tabular se verán en las siguientes secciones de este cuaderno.

1.2 Cálculo de parámetros iniciales.

En este apartado se calcularán las características necesarias en posteriores apartados para el cálculo del francobordo, las correcciones al mismo y la determinación de la cubierta de francobordo.

Eslora de francobordo (L): Según el convenio, *“se tomará como eslora de francobordo el 96 % de la eslora total medida en la 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 medida es mayor”*. En buques sin mecha de timón, como es el caso del buque proyecto al llevar propulsores azipod, se tomará como eslora el 96 % de la flotación correspondiente al 85 % del puntal. Para conocer esta medida se realizará sobre los planos del buque proyecto.

$$L (85\% D = 9,10 m) = 84,81 m$$

$$L (96\% 84,81 m) = 81,42 m$$

Manga (B): El convenio dicta lo siguiente, *“a menos que se indique expresamente otra cosa, la manga será la manga máxima del buque, medida en el centro de este 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”*. Por tanto, será lo siguiente:

$$B = 21,40 m$$

Puntal de francobordo (Df): Según el convenio, *“el puntal de trazado será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.”* A esto también le deberemos de sumar el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.

$$Df = 9,10 m + 10 mm = 9,11 m$$

Coficiente de bloque (Cb): El convenio establece una expresión para calcularlo y el la siguiente:

$$Cb = \nabla / 1,025 * L * B * D1$$

Donde:

- ∇ = desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, en un buque de forro metálico. Este valor se obtendrá de las hidrostáticas para un calado igual al 85 % del puntal de trazado = 10154,70 t.
- L = eslora de francobordo = 81,42 m.
- B manga máxima del buque = 21,40 m.
- D1 = el 85% del puntal mínimo de trazado = 7,744 m.

Con estos datos ya conocemos el coeficiente de bloque de nuestro buque.

$$Cb = 10154,70 / 1,025 * 81,42 * 21,40 * 7,744$$

$$Cb = 0,73$$

Se resumen en la siguiente tabla:

Características principales	
Eslora de francobordo (L)	81,42 m
Manga (B)	21,40 m
Puntal de francobordo (Df)	9,11 m
Coeficiente de bloque (Cb)	0,73 m

1.3 Cálculo del francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga.

1.3.1 Regla 28. Cálculo del francobordo tabular.

Para el cálculo del francobordo tubular para buques de tipo "B" seguirá la Regla 28 y se determinará por medio de la tabla 28.2. Para este cálculo se interpolará el francobordo entrando en la tabla con la eslora de francobordo (81,42 m) calculada anteriormente:

TABLA 28.2
Tabla de francobordo para buques de tipo 'B'

Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)
24	200	70	721	116	1609
25	208	71	738	117	1630
26	217	72	754	118	1651
27	225	73	769	119	1671
28	233	74	784	120	1690
29	242	75	800	121	1709
30	250	76	816	122	1729
31	258	77	833	123	1750
32	267	78	850	124	1771
33	275	79	868	125	1793
34	283	80	887	126	1815
35	292	81	905	127	1837
36	300	82	923	128	1859

$$Fb \text{ tabular } (81,42 \text{ m}) = 905 \text{ mm} + \frac{(81,42 - 81) \text{ m}}{(82 - 81) \text{ m}} * (923 - 905) \text{ mm} = 912,56 \text{ mm}$$

$$\text{Francobordo tabular} = 912,56 \text{ mm}$$

1.4 Corrección del francobordo tabular.

Se aplicarán las correcciones al francobordo tubular ya calculado, descritas en el apartado 2 del presente cuaderno. Estas correcciones “muestran” las diferencias entre el buque base y el buque real para el cual necesitamos determinar el francobordo (buque proyecto).

1.4.1 Regla 29. Corrección por eslora.

Se aplicará la Regla 29, la cual estipula una corrección por eslora aplicable a los buques de tipo B de $24 \text{ m} < L < 100 \text{ m}$ con superestructuras cerradas de una longitud efectiva de hasta el 35 % de la eslora, en los que el francobordo tabular se incrementará:

$$7,5 (100 - L) \left(0,35 - \frac{E_1}{L} \right) \text{ mm}$$

siendo L = eslora del buque en m; y

E_1 = longitud efectiva de las superestructuras en m, según se define en la regla 35, pero excluida la longitud de los troncos.

Para nuestro buque, la longitud total de la superestructura es de 45,71 m, si tenemos en cuenta la parte de la habilitación destinada a los winches primarios de remolque. En realidad, la longitud efectiva E_1 es de 27,25 m, equivalente a la distancia que ocupa la propia habilitación del buque, es decir, sin el espacio donde se instalará el winche de remolque. Estas distancias han sido medidas en los planos de la disposición general del buque. No realizaremos ninguna corrección.

$$35\% \text{ de } L = 0,35 * 81,42 \text{ m} = 28,497 \text{ m}$$

La corrección será la siguiente:

$$CE = 7,5 * (100 - 81,42) * \left(0,35 - \frac{27,25}{81,42} \right) = 2,13 \text{ mm.}$$

1.4.2 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque.

Cuando el coeficiente de bloque (C_b) $> 0,68$ el Convenio en la Regla 30 establece un aumento de la reserva de flotabilidad y por tanto del francobordo. En este caso, el francobordo tabular se multiplicará por el siguiente factor:

$$\text{Factor} = \frac{C_b + 0.68}{1.36} = \frac{0.73 + 0.68}{1.36} = 1,037$$

$$\text{Francobordo tabular} = 912,56 \text{ mm} * 1,037 = 946,32 \text{ mm}$$

1.4.3 Regla 31. Corrección por puntal.

Según la Regla 31 del Convenio podemos observar lo siguiente.

- 1) Cuando D exceda de $\frac{L}{15}$, 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 $\frac{L}{15}$ no se hará reducción alguna, excepto en buques con superestructuras cerradas que cubran al menos una longitud igual a 0,6 L 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).

Deberemos comprobar el valor de D, como es menor no se realizará ninguna corrección.

$$D = \frac{L}{15} = \frac{81,42}{15} = 5,428 \text{ m} < Df$$

Por tanto, el francobordo aumentará en:

$$(9,11 - 5,428) * \frac{81,42}{0,48} = 624,56 \text{ mm}$$

1.4.4 Regla 32. Corrección por posición de la línea de cubierta.

Cuando el puntal real hasta el borde superior de la marca de línea de cubierta sea superior o inferior a D, la diferencia entre los dos puntales se añade o resta respectivamente al francobordo. Esta regla no es aplicable en nuestro caso.

1.4.5 Regla 33. Altura normal de la superestructura.

El Convenio permite considerar una superestructura cerrada como una reserva adicional de flotabilidad, por lo que, con determinadas condiciones, la existencia de una superestructura cerrada permite una reducción del francobordo. La altura normal de una superestructura viene determinada por:

Altura normal (en m)		
L (m)	Cubierta de saltillo	Todas las demás superestructuras
30 o menos	0,9	1,8
75	1,2	1,8
125 o más	1,8	2,3

Deberemos interpolar para obtener la altura normal de nuestra superestructura.

$$\text{Altura } (L = 81,42 \text{ m}) = 1,8\text{m} + \frac{(81,42 - 75)\text{m}}{(125 - 75)\text{m}} * (2,3 - 1,8)\text{m} = 1,864 \text{ m}$$

1.4.6 Regla 34. Longitud de las superestructuras.

Ya se ha explicado en los parámetros previos y es de 45,71 m.

1.4.7 Regla 35. Longitud efectiva de superestructuras.

Ya se ha explicado en los parámetros previos y es igual a 27,25 m.

1.4.8 Regla 36. Troncos.

Esta regla no es aplicable al buque proyecto.

1.4.9 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos.

Esta regla (reducción por superestructuras y troncos) establece que cuando la longitud efectiva de las superestructuras y troncos sea igual a 1,0 L, la reducción del francobordo será de 350 mm, para 24 metros de eslora 860 mm, para 75 metros de eslora y 1070 mm para 122 metros de eslora y esloras superiores. Cuando la longitud total efectiva de las superestructuras y troncos sea inferior a 1,0 L, como es el caso del buque proyecto, la reducción será un porcentaje obtenido de la siguiente tabla:

Porcentaje de reducción para buques de los tipos 'A' y 'B'

	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 L
Porcentaje de reducción para todos los tipos de superestructuras	0	7	14	21	31	41	52	63	75,3	87,7	100

Los porcentajes correspondientes a longitudes intermedias de superestructuras y troncos se obtendrán por interpolación lineal.

La longitud de la superestructura es de 27,25 m > 0,3 * L; 27,25 > 0,3 * L = 24,43 m, por tanto, según establece esta regla, los porcentajes y la reducción final se calcularán mediante interpolación en la tabla mostrada anteriormente.

$$\frac{27,25}{81,42} m = 0,3347 * L$$

$$Reducción = 21 + \left(\frac{0,3347 - 0,3}{0,4 - 0,3} \right) * (31 - 21) = 24,47 \%$$

Deberemos aplicarle al francobordo tabular una reducción del 24,47 %.

$$Reducción = 24,47 \% * 912,56 \text{ mm} = - 223,30 \text{ mm}$$

1.4.10 Regla 38. Corrección por arrufo.

Para estudiar la corrección por arrufo se aplicará la Regla 38, el Convenio considera como curva de arrufo la curva intersección de la cubierta con el costado, el arrufo contribuye a la reserva de flotabilidad. Se calculará el arrufo normal estableciendo 6 divisiones en el buque.

Curva de arrufo normal
(L en m)

	Situación	Ordenada (en mm)	Factor
Mitad de popa	Perpendicular de popa	$25 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	1
	$\frac{1}{6}$ L desde la P. de Pp.	$11,1 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	3
	$\frac{1}{3}$ L desde la P. de Pp.	$2,8 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	3
	Centro del buque	0	1
Mitad de proa	Centro del buque	0	1
	$\frac{1}{3}$ L desde la P. de Pr.	$5,6 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	3
	$\frac{1}{6}$ L desde la P. de Pr.	$22,2 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	3
	Perpendicular de proa	$50 \left(\frac{L}{3} + 10 \right)$	1

Tabla 38.1

En las siguientes tablas, hemos realizado la curva de arrufo normal.

	SITUACIÓN	ORDENADA	FACTOR	
MITAD DE POPA	Perpendicular de popa	928,50	1	928,50
	1/6L de la P. de Pp.	412,25	3	1236,76
	1/3L de la P. de Pp.	103,99	3	311,98
	Centro del buque.	0	1	0
TOTAL				2477,24
	SITUACIÓN	ORDENADA	FACTOR	
MITAD DE Proa	Centro del buque.	0,00	1	0,00
	1/3L de la P. de Pr.	207,98	3	623,95
	1/6L de la P. de Pr.	824,54	3	2473,61
	Perpendicular de proa	1857	1	1857
TOTAL				4954,56

Con respecto a la curva de arrufo real, nuestro buque no tiene arrufo, por tanto, se debe penalizar el francobordo. En nuestro caso la curva de arrufo real será cero y el normal tendrá un cierto valor.

Según la regla, cuando se conceda un exceso de arrufo por una toldilla o un castillo, se utilizará la siguiente fórmula.

$$s = \frac{y L'}{3 L}$$

siendo: s el suplemento de arrufo, a deducir del defecto, o añadir al exceso de arrufo;

y la diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en la perpendicular de popa o de proa;

L' la longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo, hasta un máximo de $0,5 L$; y

L la eslora del buque, según se define en la regla 3 1).

Nosotros no tenemos ni castillo ni toldilla en el buque así que este cálculo no será de aplicación. Finalmente, la corrección por arrufo será el producto de la diferencia de los arrufos normal y real por el coeficiente que resulta de la siguiente expresión.

$$\left(0,75 - \frac{S}{2 * L}\right)$$

Donde:

- S es la longitud total de las superestructuras definida en la regla 34, sin los troncos.

Por tanto:

- Arrufo real proa < Arrufo normal proa → Defecto de arrufo en proa.
- Arrufo real popa < Arrufo normal popa → Defecto de arrufo en popa.

$$\frac{(A_{nPr} - A_{rPr}) + (A_{nPp} - A_{rPp})}{16} = \frac{(4954,56 - 0) + (2477,24 - 0)}{16} = 464,6 \text{ mm} \sim 465 \text{ mm}$$

$$C_s(\text{defecto}) = 0,465 * \left(0,75 - \frac{45,71}{2 * 81,42}\right) = 0,218 \text{ m}$$

Finalmente, tendremos una corrección por arrufo de 218 mm.

1.4.11 Regla 39. Altura mínima en proa y flotabilidad de reserva.

Deberemos seguir las indicaciones del convenio como se muestra en la siguiente imagen.

La altura de proa (F_b), definida 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 de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$F_b = (6075(L/100) - 1875(L/100)^2 + 200(L/100)^3) \times (2,08 + 0,609C_b - 1,603C_{wf} - 0,0129(L/d_1))$$

siendo:

- F_b la altura mínima de proa calculada, en mm;
- L la eslora definida en la regla 3, en m;
- B la manga de trazado definida en la regla 3, en m;
- d_1 el calado en el 85% del puntal D , en m;
- C_b el coeficiente de bloque definido en la regla 3;
- C_{wf} el coeficiente del área de la flotación a proa de $L/2$: $C_{wf} = A_{wf} / \{(L/2) \times B\}$; y
- A_{wf} el área de la flotación a proa de $L/2$ para el calado d_1 , en m^2 .

En los buques a los que se asignen francobordos para el transporte de madera en cubierta, se considerará el francobordo de verano (y no el francobordo de verano para el transporte de madera en cubierta) al aplicar lo dispuesto en el párrafo 1).

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

Siendo:

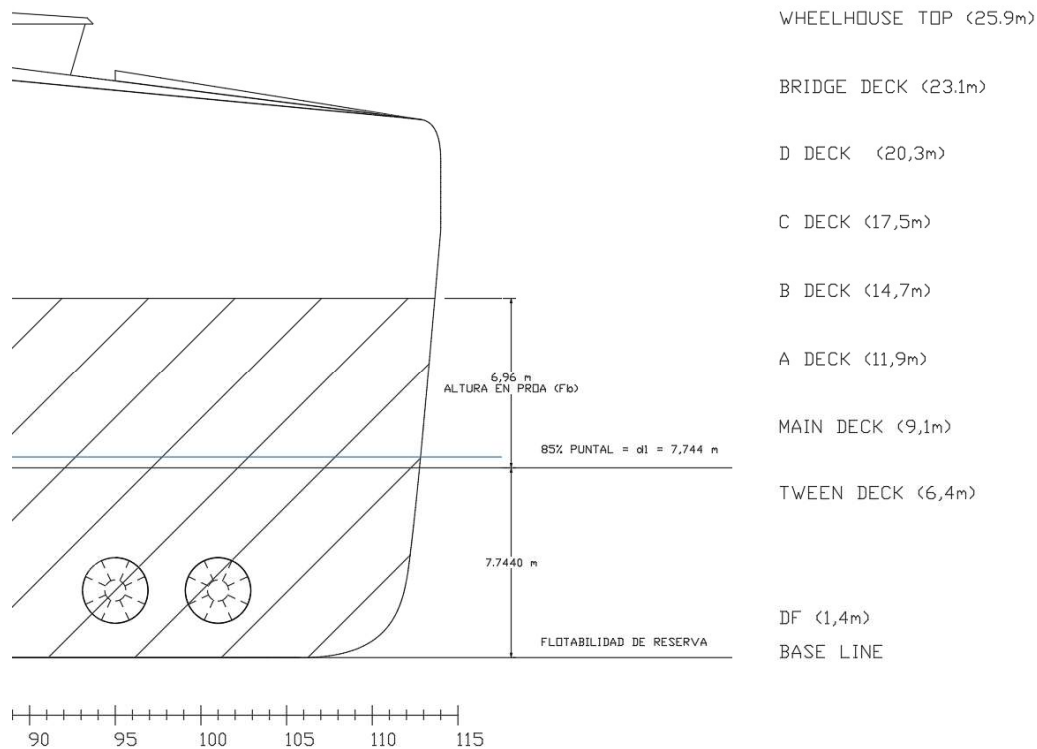
- Eslora: $L = 81,42$ m
- Manga: $B = 21,40$ m
- Calado en el 85% del puntal: $D_1 = 7,744$ m
- Coeficiente de bloque: $C_b = 0,73$
- Coef. Área de flotación a proa de $L/2$: $C_{wf} = A_{wf} / (L/2) * B = 0,812$
- Área de la flotación a proa de $L/2$: $A_{wf} =$ Medido en autocad = 707 m^2 .

Finalmente, ya podemos calcular la altura mínima en proa:

$$F_b = \left(6075 * \left(\frac{81,42}{100} \right) - 1875 * \left(\frac{81,42}{100} \right)^2 + 200 * \left(\frac{81,42}{100} \right)^3 \right) * \left(2,08 + 0,609 * 0,73 - 1,603 * 0,812 - 0,0129 * \left(\frac{81,42}{7,744} \right) \right)$$

$$F_b = 4143,97 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra la comprobación de la altura mínima en proa para el buque proyecto, también se puede observar en el plano de la zona estanca del Cuaderno 4:



Comprobación de la altura mínima en la proa, obteniendo un valor de 6,96 m, superior al valor mínimo calculado anteriormente.

Todos los buques a los que se les haya asignado un francobordo tipo B, como es el caso del buque proyecto, salvo los petroleros, quimiqueros y gaseros, tendrán una flotabilidad de reserva adicional en el extremo proel, en la sección delimitada por $0,15 * L$ a popa de la perpendicular de proa, la suma del área proyectada entre la flotación de carga de verano y el borde de la cubierta y al área proyectada de una superestructura cerrada, si existe, no será inferior a:

$$(0,15F_{\min} + 4 (L/3+10))L/1000 \text{ m}^2$$

siendo

$$F_{\min} = (F_0 \times f_1) + f_2;$$

F_0 francobordo tabular, en mm, obtenido de la tabla 28.2, corregido con arreglo a las reglas 27 9) o 27 10), según sea el caso;

f_1 corrección por coeficiente de bloque indicada en la regla 30; y

f_2 corrección por puntal, en mm, indicada en la regla 31.

Donde:

- $F_{\min} = (F_0 * f_1) + f_2$
- $F_0 =$ francobordo tabular (mm) = 912,56 mm
- $f_1 =$ corrección por coeficiente de bloque = 1,037
- $f_2 =$ corrección por puntal = 624,56 mm

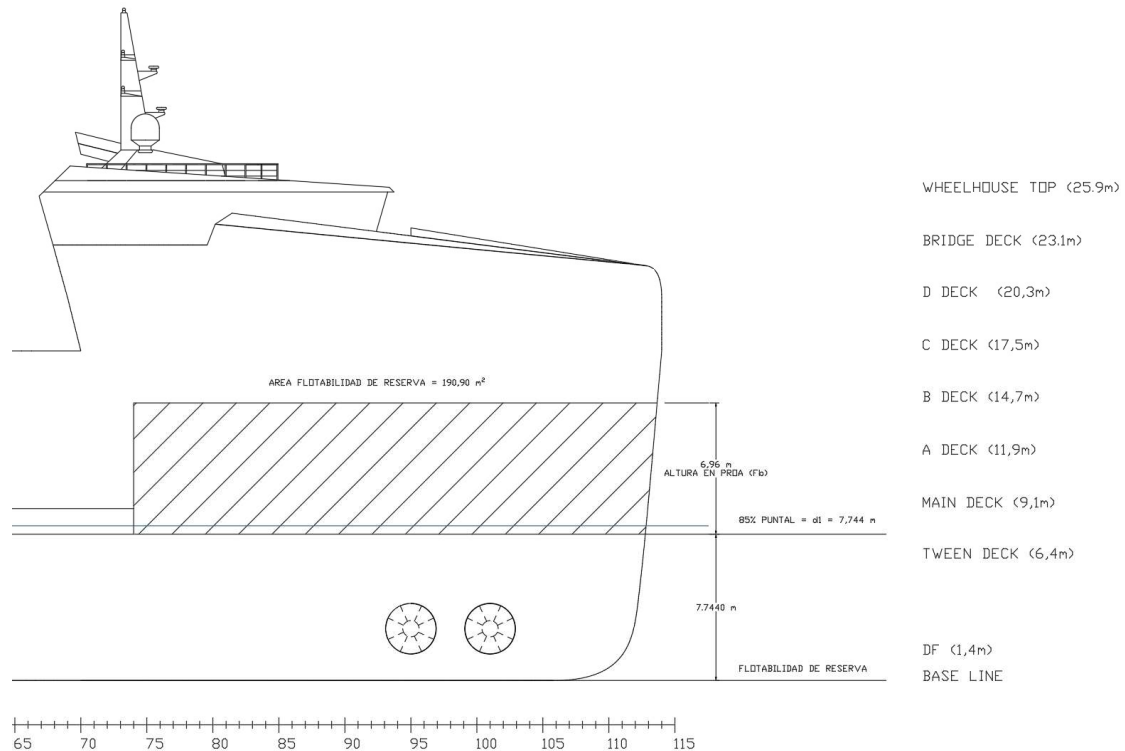
Calculamos el valor de F_{\min} :

$$F_{\min} = (912,56 * 1,037) + 624,56 = 1570,89 \text{ mm}$$

Calculamos el valor mínimo de la flotabilidad de reserva:

$$\text{Área mínima de reserva} = \left(0,15 * 1570,89 + 4 * \left(\frac{81,42}{3} + 10 \right) \right) * \frac{81,42}{1000} = 31,28 \text{ m}^2$$

Esta área mínima de flotabilidad de reserva se puede observar en el Cuaderno 4, en el plano de zona estanca adjunto, en el que se muestra la zona de flotabilidad de reserva, con un valor de 190,90 m², cumpliendo con el valor mínimo. A continuación, se muestra dicha área de flotabilidad de reserva:



Vista longitudinal comprobación del área de flotabilidad de reserva

1.4.12 Regla 40. Francobordos mínimos.

En este apartado se determinará la cubierta de francobordo, así como los distintos tipos de francobordos y calados que estipula el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966. Para este cálculo se seguirá la Regla 40 de dicho Convenio. Antes de nada, se determinará la cubierta de francobordo, por debajo de la cual el buque tiene que estar dotado de cierres estancos permanentes.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados de las distintas reglas y correcciones que han sido aplicadas al francobordo tabular del buque de proyecto:

Elemento	Tipo de corrección	Francobordo	Unidades
Francobordo tabular		912,56	mm
Corrección por eslora	Aumento	2,13	mm
Corrección por Cb	Factor	1,037	
Nuevo francobordo tabular		946,32	mm
Corrección por puntal	Aumento	624,56	mm
Corrección por superestructuras	Reducción	223,3	mm
Corrección por arrufo	Aumento	218	mm

Una vez aplicadas dichas correcciones obtenemos un francobordo total que se corresponde con el de verano y un puntal de francobordo que determina la posición de la cubierta de francobordo.

Francobordo total	1566	mm
Puntal a la cubierta de francobordo	9,11	m

Tabla francobordo de verano y puntal a la cubierta de francobordo por debajo de la cual el buque será estanco.

Calculamos el calado de trazado:

$$T \text{ trazado} = \text{Puntal a la cubierta de FB} - \text{FB verano}$$

$$T \text{ trazado} = 9110 - 1566 = 7544 \text{ mm}$$

Siendo el calado máximo de carga obtenido en el cuaderno 5 de 6,60 m se le añade un margen de 300 mm dando lugar a un calado de escantillonado de 6,90 m. La diferencia de calados es la siguiente:

$$\text{Diferencia de calados} = 7544 - 6900 = 644 \text{ mm}$$

$$\text{Nuevo francobordo} = 1566 + 644 = 2210 \text{ mm}$$

Ahora deberemos aplicar reducciones y adicciones al francobordo total para obtener el francobordo de verano, tropical, en invierno, en el Atlántico Norte y el francobordo de agua dulce.

Puntal a la cubierta de francobordo	9110	mm
Calado de trazado (d)	6900	mm

1.5 Resumen de francobordos y calados.

Francobordo de verano

“a) El francobordo mínimo de verano será el francobordo obtenido de las tablas de la regla 28, modificado por las correcciones de las reglas 27, en la medida en que sea aplicable, 29, 30, 31, 32, 37, 38 y, si procede, la regla 39.

b) El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con el párrafo 1), pero sin la corrección por la línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50 mm. Para los buques que tengan en emplazamientos de clase 1 escotillas con tapas que no cumplan las prescripciones de la regla 16, párrafos 1) a 5), o la regla 26, el francobordo no será inferior a 150 mm.”

Francobordo de verano	2210	mm
-----------------------	------	----

Francobordo tropical

“c) El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del francobordo de verano 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

d) El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con el párrafo 3), pero sin la corrección por la línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50 mm.

Para los buques que tengan en emplazamientos de clase 1 escotillas con tapas que no cumplan las prescripciones de la regla 16, párrafos 1) a 5), o la regla 26, el francobordo no será inferior a 150 mm.”

Francobordo tropical	2066	mm
----------------------	------	----

Francobordo de invierno

“e) El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.”

Francobordo de invierno	2354	mm
-------------------------	------	----

Francobordo de invierno en el Atlántico Norte

“f) El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte, definido en la regla 52 (Anexo II), durante el periodo estacional de invierno, será el francobordo de invierno más 50 mm. Para los demás buques el francobordo de invierno en el Atlántico Norte será el francobordo de invierno.”

Francobordo del Atlántico Norte	2404	mm
---------------------------------	------	----

Francobordo de agua dulce

“g) El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada:

$$\frac{\Delta}{40 * TPF} (cm) = \frac{8089}{40 * 16,882} (cm) = 11,98 \text{ cm}$$

Siendo:

- Δ = el desplazamiento en agua salada, en toneladas, en la flotación en carga de verano;
- y
- T = las toneladas por centímetro de inmersión en agua salada, en la flotación en carga de verano.”

Francobordo de agua dulce	2090	mm
---------------------------	------	----

Por tanto, se muestra a continuación una tabla resumen con todos los resultados obtenidos tanto de francobordo como los calados finales.

Puntal a la cubierta de francobordo	9110	mm
Francobordo de verano	2210	mm
Calado de trazado (d)	6900	mm
Reducción para francobordo tropical	143,75	mm
Incremento para francobordo de invierno	143,75	mm
Incremento para francobordo del atlántico norte	193,75	mm
Reducción para francobordo agua dulce	119,8	mm

Francobordo de verano	2210	mm
Francobordo tropical	2066	mm
Francobordo de invierno	2354	mm
Francobordo del Atlántico Norte	2404	mm
Francobordo de agua dulce	2090	mm

Tabla de incrementos para francobordos mínimos en las diferentes situaciones de navegación.

Calado de verano	6900	mm	6,90	m
Calado tropical	6756	mm	6,76	m
Calado de invierno	7044	mm	7,04	m
Calado de invierno atlántico norte	7094	mm	7,09	m
Calado de verano en agua dulce	6636	mm	6,64	m

Tabla para calados máximos en las diferentes situaciones de navegación.

1.6 Conclusiones.

La situación más desfavorable en cuanto al francobordo en la del buque proyecto navegando en el Atlántico Norte, que presenta un francobordo mínimo de 2403,75 mm y un calado máximo admitido de 6,71 m siendo el puntal a la cubierta de francobordo de 9,11 m.

Al analizar las diferentes condiciones de carga del buque obtenemos en el cuaderno 5 que se trata de la condición nº1 y tiene un calado máximo de 6,60 m, cumpliendo con cierto margen el francobordo mínimo exigido para la condición más desfavorable.

Francobordo condición carga nº1	2510	mm
Francobordo del Atlántico Norte	2404	mm

Tabla comparativa del francobordo real para la condición de carga más desfavorable, la condición de carga número 1 (buque saliendo de puerto a plena carga) y del francobordo mínimo exigido más desfavorable, en el Atlántico Norte.

Con esta tabla queremos expresar que aún tenemos margen para un mayor calado, lo que implica poder aumentar la capacidad de carga de nuestro buque.

1.6.1 Regla 6. Líneas que se usarán con la marca de francobordo.

En este apartado quiero realizar una mención sobre el disco Plimsoll. Este se trata de una marca esquemática que llevan los buques pintada en su casco, su uso se impuso en el año 1875 para evitar accidentes navales debido al exceso de carga de los barcos. Su nombre oficial es marca de francobordo, y sirve para fijar el máximo calado (mínimo francobordo) con el que puede navegar el buque en condiciones de seguridad.

La marca de francobordo está formada por un anillo de 300 milímetros de diámetro exterior y 25 milímetros de ancho, cortado por una línea horizontal de 450 milímetros de longitud y 25 milímetros de ancho, cuyo borde superior pasa por el centro del anillo. El centro del anillo debe colocarse en el centro del buque y a una distancia igual al francobordo mínimo de verano asignado, medida verticalmente por debajo del borde superior de la línea de cubierta.

Según lo especificado en el convenio tiene la siguiente forma:

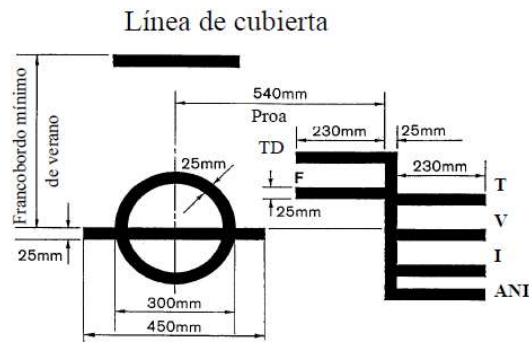
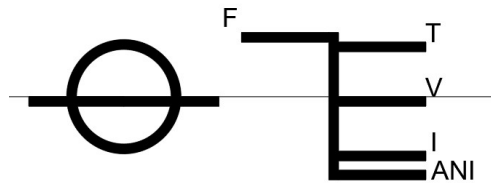


Figura 6.1 - Marca de líneas de carga y líneas que se usarán con esta marca

La representación del disco de Plimsoll se puede observar en la disposición general del buque de proyecto del Cuaderno 7. La cubierta de francobordo será finalmente la cubierta principal, igual que se había establecido en el Cuaderno 1. Nuestro disco en detalle es el siguiente.



2 CÁLCULO DEL ARQUEO.

2.1 Introducción. Normativa aplicable. Características principales.

El arqueo del buque es un tipo de medición a partir de su volumen interno cuyo resultado expresa el tamaño de la embarcación y su capacidad utilizable, Comprende el arqueo bruto y el arqueo neto.

Para el cálculo del arqueo se utiliza el código internacional sobre arqueo de buques de 1969, teniendo así las siguientes definiciones:

- Arqueo bruto: es la expresión del volumen total del buque. No tiene unidades y se designa con las letras GT (Gross Tonnage). Es una medida de volumen de todos los espacios cerrados del buque, designado por la siguiente fórmula:

$$GT = K_1 * V$$

Siendo:

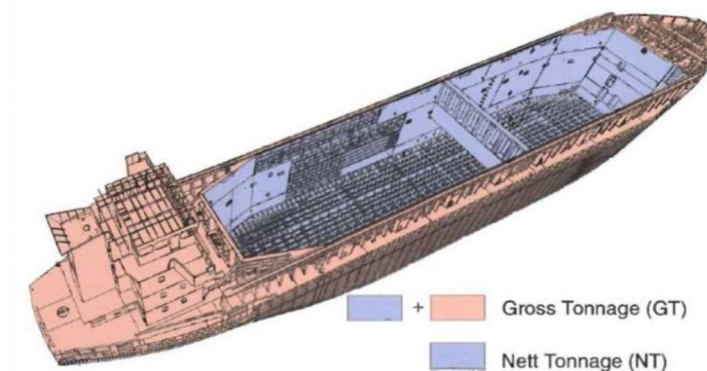
- $K_1 = 0,2 + 0,02 * \log_{10} V$
 - $V =$ Volumen de todos los espacios cerrados del buque en m^3 .
- Arqueo neto: es la expresión de la capacidad utilizable del buque para el transporte de carga y/ o pasaje. No tiene unidades y se denomina con las letras NT (Net Tonnage). Función del volumen de espacios de carga y del número de pasajeros, designado por la siguiente fórmula:

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

Siendo:

- El factor $\left(\frac{4*d}{3*D}\right)^2$ será ≤ 1 .
- El término $K_2 * V_c * \left(\frac{4*d}{3*D}\right)^2 \geq 0,25 GT$
- $NT \geq 0,30 GT$
- V_c será el volumen de los espacios de carga en metros cúbicos.
- $D =$ puntal de trazado medido en el centro del buque (m)
- $d =$ calado de verano (m)
- $N_1 =$ número de pasajeros alojados en camarotes de menos de 8 literas
- $N_2 =$ el resto de los pasajeros.

En la siguiente imagen se puede observar la diferencia entre arqueo bruto y neto.



Una vez descrito lo que vamos a calcular, comenzamos con los cálculos de arqueo.

2.2 Arqueo bruto.

Si queremos realizar el cálculo del arqueo bruto necesitaremos conocer el volumen de todos los espacios cerrados del buque de proyecto. Dividiremos este volumen en dos, obra viva y obra muerta. El primero volumen que calcularemos será aquel hasta la cubierta principal, obtenido en Maxsurf a un calado igual al puntal de esta cubierta para el cual obtendremos un desplazamiento (12.329 t), el cual deberemos dividir entre la densidad del agua salada para obtener este volumen inferior. El otro volumen corresponde con el de todos los espacios cerrados situados por encima de la cubierta principal. Para ello obtendremos el área de cada cubierta medida en el plano de la disposición general y será multiplicada por la altura entre cubiertas (2,80 m). En la siguiente tabla se muestran los volúmenes.

Volumen hasta la cubierta principal	12028,29	m ³
Volumen cubierta principal	1206,66	m ³
Volumen cubierta A	1108,32	m ³
Volumen cubierta B	1093,12	m ³
Volumen cubierta C	1069,94	m ³
Volumen cubierta D	1069,94	m ³
Volumen puente gobierno	647,64	m ³
Volumen total	18223,91	m ³

Una vez conocido el volumen total podemos calcular el valor de K_1

$$K_1 = 0,2 + 0,02 * \log(V) = 0,2 + 0,02 * \log(18223,91) = 0,285$$

Ahora ya podemos calcular el arqueo bruto por la expresión anteriormente mencionada:

$$GT = K_1 * V = 0,285 * 18223,91 = 5193,81$$

$$GT = 5193,81$$

2.3 Arqueo neto.

Para llevar a cabo este cálculo necesitamos conocer el volumen de carga que lleva nuestro buque. Para este volumen tendremos en cuenta las capacidades reales de los tanques que han sido calculados en el Cuaderno 4, entre ellos: Lodo de perforación, salmuera, cemento seco y agua dulce de suministro.

- V_C será el volumen de los espacios de carga en metros cúbicos = 1195 m³.
- D = puntal de trazado medido en el centro del buque = 9,10 m.
- d = calado de verano = 6,90 m.
- $N_1 = 20$
- $N_2 = 0$

Una vez que tenemos estos datos definidos ya podemos conocer el valor de K_2 y K_3 .

$$K_2 = 0,2 + 0,02 * \log(V_C) = 0,2 + 0,02 * \log(1195) = 0,261$$

$$K_3 = 1,25 * \frac{GT + 10000}{10000} = 1,25 * \frac{5193,81 + 10000}{10000} = 1,52$$

Comprobamos la validez de los factores:

$$\left(\frac{4 * d}{3 * D}\right)^2 \leq 1; \left(\frac{4 * 6,90}{3 * 9,10}\right)^2 = 1,022 = 1$$

Ahora ya podemos calcular el valor del arqueo neto:

$$NT = 0,261 * 1195 * 1 + 1,52 * (20) = 342,30$$

$$NT = 342,30$$

Comprobamos que el arqueo neto sea mayor que el 30% del arqueo bruto, de no ser así, el arqueo neto tomará este valor.

$$NT = 342,30 \leq 0,30 * GT = 0,30 * 5193,81 = 1558,14$$

Como no cumple, el valor del arqueo neto final será el siguiente:

$$NT = 1558,14$$