



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2019/ 2010

PSV 8500 TPM

CLEAN DESIGN; FIFI III; DYNPOS AUTR; SF; E0; SPS; SUPPLY VESSEL; OIL
RECOVERY; ICE C

CUADERNO 9: FRANCOBORDO Y ARQUEO

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO: PABLO FERNÁNDEZ CARBAJALES

TUTOR: FERNANDO LAGO RODRÍGUEZ

FECHA: SEPTIEMBRE 2020

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE FERROL

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO Nº 1920/ 09

Requerimientos previstos de actividad (RPA) del buque proyecto:

Título del proyecto: PSV 8500 TPM

Clasificación, cota y reglamentos de aplicación: DNV, SPS, SUPPLY VESSEL, SF, EO, ICE C, DYNPOS AUTR, CLEAN DESIGN, FIFI III

Velocidad y autonomía: 15 nudos en condiciones de servicio, 5000 millas

Sistemas y equipos de carga/ descarga: los habituales en este tipo de buques

Propulsión: diésel – eléctrica, propulsores Voith Schneider

Tripulación y pasaje: 38 personas más 12 (personal especial), según SPS

Ferrol, 31 de octubre de 2019

ALUMNO/A: PABLO FERNÁNDEZ CARBAJALES

El buque a proyectar se trata de un buque diseñado para prestar apoyo y suministro a las plataformas petrolíferas del Mar del Norte, tanto carga líquida como carga seca. Además, presenta la posibilidad de extinguir fuegos exteriores al buque (FIFI III) y recoger vertidos de hidrocarburos en alta mar (OIL RECOVERY).

The vessel to be projected is a vessel designed to provide support and supply to the oil rigs in the North Sea, both liquid and dry cargo. In addition, it has the possibility of extinguishing fires outside the ship (FIFI III) and collecting hydrocarbon spills in the seas (OIL RECOVERY).

O buque que se proxecta é un buque diseñado para proporcionar apoio e subministración ás plataformas petrolíferas do mar do Norte, tanto carga líquida como seca. Ademais, ten a posibilidade de extinguir incendios fora do buque (FIFI III) e recoller derrames de hidrocarburos en alta mar (OIL RECOVERY).

ÍNDICE

1. Presentación (página 5)
2. Introducción (páginas 6 - 8)
3. Cálculo de las características reglamentarias (páginas 9 – 10)
4. Cálculo del francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 (páginas 10 – 23)
5. Cálculo del arqueo según el Convenio Internacional sobre Arqueo de buques de 1969 (páginas 23 – 25)

1. Presentación

El buque proyecto se trata de un PSV (Platform Supply Vessel) destinado a prestar apoyo y suministro a las plataformas petrolíferas del Mar del Norte, con una capacidad de 8500 TPM, condición fijada en la RPA, además de una velocidad de servicio de 15 nudos. En cuanto a la operatividad del mismo puede suministrar la siguiente carga:

- Diesel oil
- Agua dulce para consumo
- Cemento seco
- Salmuera
- Otros elementos en la cubierta principal (carga seca) como brocas de perforación, cables etc.

También está diseñado para recoger los siguientes productos de la plataforma:

- Barro de perforación

Se ha dotado también la posibilidad de que el buque tenga la capacidad de recoger vertidos de hidrocarburos derramados en alta mar, lo que se conoce como Oil Recovery.

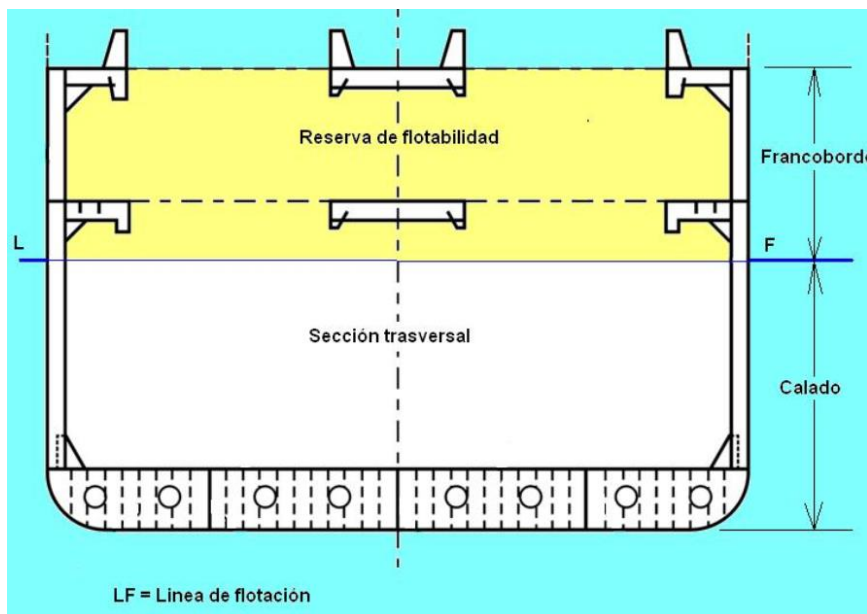
Las cotas de clase que aplican en el diseño del buque proyecto son las siguientes:

- DNV: buque diseñado bajo dicha sociedad de clasificación, se seguirán las normas y recomendaciones que sean de aplicación.
- SPS (special purpose ship)
- Supply vessel: buque diseñado para prestar apoyo.
- SF: buque diseñado teniendo en cuenta factores restrictivos en estabilidad en averías
- EO: maquinaria desatendida
- ICE C: buque diseñado para navegar en zonas con presencia de una capa fina de hielo
- DYNPOS AUTR: buque diseñado con la capacidad de mantener la posición sin moverse.
- CLEAN DESIGN: buque que dota de un diseño limpio en cuanto a contaminación
- FIFI III: buque diseñado con la posibilidad de luchar contra fuegos exteriores.
- OIL RECOVERY: buque dotado de la capacidad de recoger y almacenar vertidos de hidrocarburos en alta mar

Las cotas de clase comentadas se irán desarrollando a lo largo de los 13 cuadernos de los que consta el TFG.

2. Introducción

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. A continuación, se muestra una imagen en la que se puede observar gráficamente la definición de francobordo:



Representación gráfica de francobordo

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 inundación. Esto se ha comentado en el Cuaderno 5 a la hora de comentar las condiciones de carga analizadas. Como se había comentado las condiciones de carga que presentaban un menor margen de cumplimiento de los criterios de estabilidad eran aquellas que presentaban una menor reserva de flotabilidad, al contrario que las que presentaban un mayor margen de cumplimiento.
- **La altura de la cubierta como plataforma de trabajo de la tripulación respecto a la superficie del mar:** esto condiciona la seguridad de la misma en condiciones de mala mar, supone para el buque la limitación del calado máximo en navegación.

Para el cálculo del francobordo y la determinación de la cubierta de francobordo de empleará el **Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966**. Dicho Convenio establece dos categorías de buques, las cuales se exponen a continuación:

Buque tipo A: un buque perteneciente a la categoría tipo A es aquel proyectado para transportar cargas líquidas a granel, y en el cual los tanques de carga tienen sólo pequeñas aberturas cerradas por tapas estancas. Estos buques tendrán las siguientes características:

- Gran integridad de la cubierta expuesta
- Gran seguridad contra la inundación debido a la pequeña permeabilidad de los tanques de carga

Buque tipo B: los buques correspondientes a la categoría B son 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:

- Francobordo incrementado (B+): para los buques con escotillas que no cumplan los criterios mínimos de material, resistencia y características se les añade un valor de la tabla de francobordo en función de la eslora.
- Francobordo reducido (B-): para los buques de $L < 100$ m, que adoptan medidas de protección para la tripulación, desagüe adecuado, tapas de escotillas estancas y características adecuadas frente a inundaciones: reducción de hasta el 60 % de la diferencia del francobordo tabular entre B y A, reducción del 100 % de la diferencia.

Los buques tipo A tienen un menor francobordo ya que poseen un mayor grado de seguridad contra una posible inundación, por tanto, necesitarán una menor reserva de flotabilidad. El buque proyecto se trata como se ha comentado en la presentación de este cuaderno de un buque de apoyo a plataformas petrolíferas, proyectado para el transporte de cargas líquidas y carga seca en la cubierta principal. Debido a que los buques tipo A son aquellos que transportan exclusivamente carga líquida, como puede ser un petrolero, el buque será considerado de tipo B para el cálculo del francobordo en el presente cuaderno.

El cálculo del francobordo se realizará en dos etapas:

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

Las características del buque base son las siguientes:

- Los buques tipo B de $L < 100$ m deben tener una superestructura cerrada que cubra al menos el 35 % de la eslora de francobordo.
- Relación eslora/ puntal igual a 15 ($L/D = 15$).
- Coeficiente de bloque menor de 0,68 ($C_b < 0,68$).
- Línea de arrufo en el costado igual a la definida en el Convenio como línea de arrufo normal.

- Buque sin superestructuras, excepto lo indicado en el primer punto.

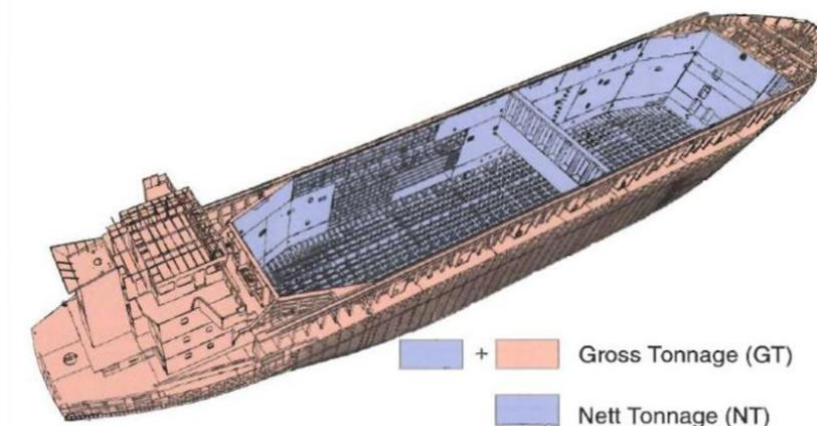
Las correcciones que se aplicarán al francobordo tubular, las cuales se detallarán en los siguientes apartados, son las siguientes:

- Corrección por eslora
- Corrección por coeficiente de bloque
- Corrección por puntal
- Corrección por superestructuras
- Corrección por arrufo
- Altura mínima en proa

Para el cálculo del arqueo se utilizará el **Convenio 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). Se define lo siguiente:

- **Arqueo:** es el volumen o espacio cerrado de un buque, que se obtiene al efectuar el cálculo correspondiente y cuyo resultado expresa el tamaño de una embarcación y su capacidad utilizable, denominándose Arqueo Bruto y Arqueo Neto respectivamente.
- **Arqueo Bruto:** es la expresión del tamaño volumétrico total de una embarcación.
- **Arqueo Neto:** es la expresión volumétrica de la capacidad utilizable de una embarcación, es decir, el volumen de todos los espacios aprovechados comercialmente.

A continuación, se muestra una imagen en la que se puede apreciar la diferencia comentada entre el Arqueo Bruto y el Arqueo Neto:



Diferencia gráfica entre el Arqueo Bruto y el Arqueo Neto

3. Cálculo de las características reglamentarias (L, B, Df y Cb)

En este apartado se calcularán las características comentadas para el buque proyecto, las cuales se necesitarán en posteriores apartados para el cálculo del francobordo y la determinación de la cubierta de francobordo.

Eslora de francobordo:

Según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966, 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 Voith Schneider, 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:

$$L (85 \% D = 11,5 m) = 99,28 m$$

$$L (96 \% 99,28 m) = 95,31 m$$

Manga (B):

El Convenio dice que a menos que se indique expresamente otra cosa, la manga será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna, en los buques de forro metálico, o hasta la superficie exterior del casco, en los buques con forro de otros materiales.

$$B = 24,618 m$$

Puntal de francobordo (Df):

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. El puntal de francobordo (Df) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado:

$$Df = 11,5 m + 11,5 mm = 11,5115 m$$

Coefficiente de bloque (Cb):

El Convenio establece el coeficiente de bloque a partir de la siguiente expresión:

$$Cb = \nabla / 1,025 \times L \times B \times d1$$

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 = 16464 t.
- L = eslora de francobordo = 95,31 m

- B = manga máxima del buque = 24,618 m
- d1 = el 85 % del puntal mínimo de trazado = 9,775 m

Ya podemos conocer el valor del coeficiente de bloque:

$$Cb = 16464 / 1,025 \times 95,31 \times 24,618 \times 9,775$$

$$Cb = 0,7$$

A continuación, se detallan las características reglamentarias calculadas anteriormente, con las cuales se determinará el francobordo tubular y sus correcciones:

Eslora de francobordo (L)	95,31 m
Manga (B)	24,618 m
Puntal de francobordo (Df)	11,5115 m
Coeficiente de bloque (Cb)	0,7

Tabla resumen

4. Cálculo del francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966

4.1 Cálculo del francobordo tubular

Para el cálculo del francobordo tubular se seguirá la Regla 28, en la cual se definen las tablas de francobordo para buques de tipo B, como es el caso del buque proyecto. Para este cálculo se interpolará el francobordo entrando en la tabla con la eslora de francobordo (95, 31 m) calculada anteriormente:

TABLA B

Tabla de francobordo para buques de tipo "B"

Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
24	200	58	544	92	1116
25	208	59	559	93	1135
26	217	60	573	94	1154
27	225	61	587	95	1172
28	233	62	601	96	1190
29	242	63	615	97	1209

$$Fb \text{ tubular } (95,31 \text{ m}) = 1172 \text{ mm} + [((95,31 \text{ m} - 95 \text{ m}) / (96 \text{ m} - 95 \text{ m})) \times (1190 \text{ mm} - 1172 \text{ mm})]$$

$$\text{Francobordo tubular} = 1177,58 \text{ mm}$$

4.2 Corrección del francobordo tubular

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).

4.2.1 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:

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

siendo L = eslora del buque en metros,

E = longitud efectiva de las superestructuras, en metros, según se define en la regla 35;

Para el buque proyecto $E = 38,56 \text{ m}$ aproximadamente, medido en los planos de Autocad.

$$35 \% \text{ de } L = 95,31 \text{ m} = 33,35 \text{ m}$$

Como podemos comprobar la corrección por eslora no es aplicable al buque proyecto, ya que la longitud efectiva de las superestructuras es mayor que el 35 % de la eslora.

4.2.2 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:

$$\text{Valor del factor} = (C_b + 0,68) / 1,36 = (0,7 + 0,68) / 1,36 = 1,015$$

$$\text{Francobordo tabular} = 1177,58 \text{ mm} \times 1,015 = 1195,24 \text{ mm}$$

4.2.3 Corrección por puntal

Según la Regla 31 del Convenio, cuando $D > L / 15$, el francobordo tabular aumentará en:

$$(D - L / 15) \times R \text{ (mm)}$$

$$L / 15 = 95,31 \text{ m} / 15 = 6,354 < D$$

Donde:

- $R = L / 0,48$ para $L < 120 \text{ m}$
- $R = 250$ para $L \geq 120 \text{ m}$

Como el buque proyecto mide menos de 120 metros, el valor de $R = 95,31 \text{ m} / 0,48 = 198,56$

El francobordo tabular aumentará lo siguiente.

$$\text{Aumento Fb tabular} = (11,5115 \text{ m} - (95,31 \text{ m} / 15)) \times 198,56$$

$$\text{Aumento Fb tabular} = 1024 \text{ mm}$$

4.2.4 Corrección por 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. Se aplicarán las Reglas de la 33 a la 37.

Regla 33:

La altura normal de una superestructura viene determinada por:

Regla 33

Altura normal de las superestructuras

La altura normal de una superestructura será la que se indica en la tabla siguiente:

Altura normal (en metros)

L (metros)	Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 ó menos	0,90	1,80
75	1,20	1,80
125 ó más	1,80	2,30

Interpolando obtenemos una altura normal de superestructura de 2 m.

Regla 34:

En dicha Regla se estipula que la longitud de una superestructura será la longitud media de aquella parte de la misma que quede dentro de la eslora (L) = 38,56 m.

Regla 35:

La longitud efectiva de la superestructura = 38,56 m.

Regla 36:

Esta Regla no es aplicable al buque proyecto.

Regla 37:

Dicha 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 del tipo "B"

	Línea	Longitud efectiva total de superestructuras y troncos										
		0	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,6 L	0,7 L	0,8 L	0,9 L	1,0 L
Buques con castillo y sin puente aislado	I	0	5	10	15	23,5	32	46	63	75,3	87,7	100
Buques con castillo y puente aislado	II	0	6,3	12,7	19	27,5	36	46	63	75,3	87,7	100

La longitud de la superestructura es de 38,56 m > 0,4 x L: 38,56 m > 0,4 x 95,31 = 38,124 m, por tanto, según establece esta Regla, los porcentajes se calcularán de acuerdo a la línea II mediante interpolación.

$$38,56 \text{ m} / 95,31 \text{ m} = 0,4045 \text{ L}$$

$$\text{Reducción} = 27,5 + [(0,4045 - 0,4) / (0,5 - 0,4)] \times (36 - 27,5)$$

$$\% \text{ Reducción} = 27,8$$

$$\text{Reducción} = - 327,36 \text{ mm}$$

4.2.5 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. El buque proyecto no tiene arrufo, por lo que será necesario aplicar una corrección por defecto de arrufo. Se calculará el arrufo normal estableciendo 6 divisiones en el buque.

Curva de arrufo normal (L en metros)

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

	Situación	Ordenada (en mm)	Factor	Arrufo Normal
Mitad de popa	Perpendicular de popa (App)	1044,25	1	1044,25
	1/6 de L desde App	463,647	3	1390,941
	1/3 de L desde App	116,956	3	350,868
	Centro del barco	0	1	0
Mitad de proa	Centro del barco	0	1	0
	1/3 de L desde Ppr	233,912	3	701,736
	1/6 de L desde Ppr	927,294	3	2781,882
	Perpendicular de proa (Ppr)	2088,5	1	2088,5

Tabla de Arrufo Normal

Defecto de arrufo:

$$s = \frac{y}{3} \frac{L'}{L} \text{ en donde:}$$

Donde:

- s: suplemento de arrufo, a deducir del defecto o añadir al exceso de arrufo
- y: diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en el extremo de la línea de arrufo

- L': longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo, hasta un máximo de 0,5L
- L: eslora del buque

Ya podemos calcular el valor del suplemento de arrufo debido al defecto de arrufo:

$$s = (2 \times 23,76 \text{ m}) \times (3 \times 95,31 \text{ m}) = 166,2 \text{ mm}$$

	Altura Real (mm)	Altura Normal (mm)	Diferencia	s
Proa	2800	2000	600	166,2
Popa	0	0	0	0

Tabla alturas real y normal, s

La corrección final por arrufo viene determinada por:

Ya podemos calcular la corrección por arrufo:

$$\text{Corrección por arrufo} = ((8358,177 - 2800) / 16) \times (0,75 - (38,56 / 2 \times 95,31))$$

$$\text{Corrección por arrufo} = 190 \text{ mm}$$

4.2.6 Altura mínima en proa y flotabilidad de reserva

Para el estudio de la altura mínima en proa se recurre a la Regla 39. La altura de proa (Fb) 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. La parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$Fb = (6075 \times (L/100)) - 1875 \times (L/100)^2 + 200 \times (L/100)^3 \times (2,08 + 0,609 \times Cb - 1,603 \times Cwf - 0,0129 \times (L/d1))$$

Donde:

- Fb = altura mínima en proa (mm)
- L = eslora del buque (m) = 95,31 m
- B = manga de trazado (m) = 24,618 m
- d1 = calado al 85 % del puntal (m) = 9,775 m
- Cb = coeficiente de bloque = 0,7
- Cwf = coeficiente del área de flotación a proa de L/ 2: $Cwf = Awf / \{(L/ 2) \times B\}$ y
Awf = área de la flotación a proa de L/ 2 para el calado d1 (m2)

Calculamos los valores de Cwf y Awf:

$$Awf = 976 \text{ m}^2$$

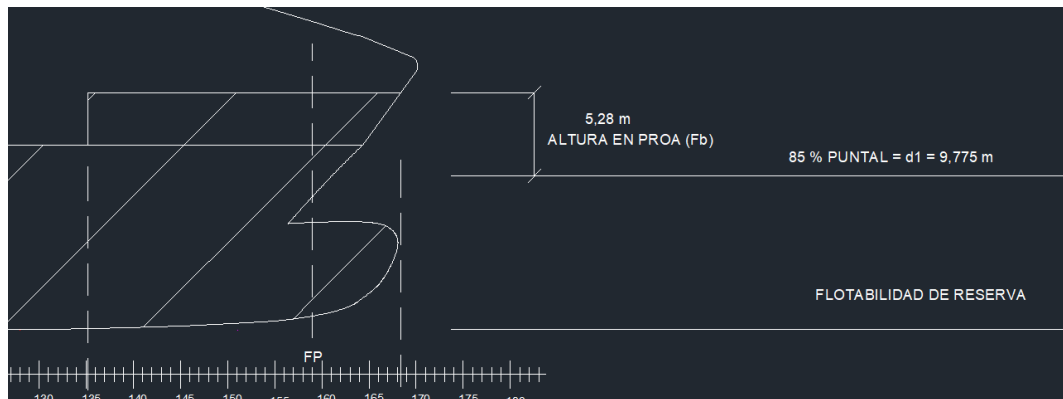
$$Cwf = 976 \times ((95,31/ 2) \times 24,618 = 0,83$$

Ya podemos calcular la altura mínima en proa:

$$F_b = (6075 \times (95,31/100) - 1875 \times (95,31/100)^2 + 200 \times (95,31/100)^3) \times (2,08 + 0,609 \times 0,7 - 1,603 \times 0,83 - 0,0129 \times (95,31/9,475))$$

$$F_b = 4392,65 \text{ mm}$$

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 5,28 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:

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

Donde:

- $F_{\min} = (F_o \times f_1) + f_2$
- F_o = francobordo tubular (mm)
- f_1 = corrección por coeficiente de bloque = 1,015
- f_2 = corrección por puntal = 1024 mm

Calculamos el valor de F_{\min} :

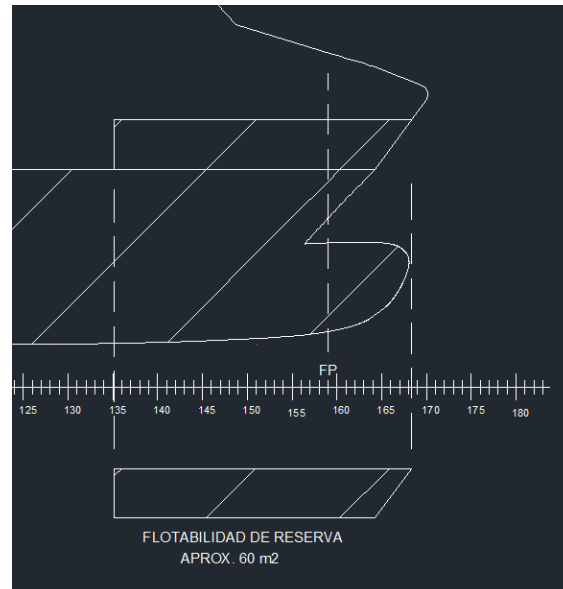
$$F_{\min} = (F_o \times f_1) + 1024 \text{ mm} = 1177,58 \text{ mm} \times 1,015 + 1024 \text{ mm} = 1195,24 + 1024 \text{ mm} = 2219,24 \text{ mm}$$

Calculamos el valor mínimo de la flotabilidad de reserva:

$$\text{Flotabilidad mínima de reserva} = (0,15 \times 2219,24 + 4 \times (95,31/3 + 10)) \times 95,31/1000 = 47,65 \text{ m}^2$$

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 aproximado de 60 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

4.2.7 Cálculo de los francobordos y calados estipulados

En este apartado se determinará la cubierta de francobordo, así como los distintos 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. Para ello hay que tener en cuenta el francobordo tabular calculado y sus correcciones, las cuales se detallan a continuación:

Francobordo tabular	<i>1177,58 mm</i>
Corrección por eslora	<i>No aplicable</i>
Corrección por Cb	<i>Francobordo Tub. X 1,015</i>
Nuevo francobordo tabular	<i>1195,24</i>
Corrección por puntal	<i>Aumento en 1024 mm</i>
Corrección por superestructuras	<i>Reducción en 327,36 mm</i>
Corrección por arrufo	<i>Aumento en 190 mm</i>

Tabla correcciones al francobordo tabular

Una vez aplicadas dichas correcciones obtenemos un francobordo y un puntal de francobordo como el mostrado a continuación, el puntal de francobordo determina la cubierta de francobordo y el francobordo calculado se corresponde con el de verano:

Francobordo de verano	2081,88
Puntal a la cubierta de francobordo	9,42962

Tabla francobordo de verano y puntal a la cubierta de francobordo

Como se puede comprobar, la cubierta de francobordo se encuentra por encima de los calados obtenidos al analizar las condiciones de carga en el Cuaderno 5, el calado máximo se correspondía con la condición de carga 1 (Buque saliendo de puerto a plena carga) y era igual a 8,193 m. Este es el puntal mínimo a la cubierta de francobordo, por tanto, la cubierta de francobordo será la cubierta continua que esté situada justo por encima, resultando ser la cubierta principal, como se muestra a continuación:

Cubierta de francobordo	11,5 m
--------------------------------	--------

Cubierta final de francobordo, por debajo de la cual el buque será estanco

El calado de verano, por tanto, resulta ser el siguiente:

Calado de verano	9,42 m
-------------------------	--------

Calado de verano, teniendo en cuenta el francobordo de verano ya calculado

Una vez conocido el francobordo de verano se calculará la reducción para el francobordo tropical y el incremento para los francobordos de invierno y Atlántico Norte:

Francobordo tropical:

El francobordo mínimo exigido en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del de verano un cuarenta y ochoavo del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo. Para buques que tengan en emplazamientos de clase 1 escotillas con tapas que no cumplan las prescripciones de las reglas 15, 16 o 26 el francobordo no será inferior a 150 milímetros, no es el caso del buque proyecto.

Calculamos el francobordo tropical:

$$\text{Francobordo tropical} = \text{francobordo de verano} - (\text{calado de verano} / 48)$$

$$\text{Francobordo tropical} = 2081,88 \text{ mm} - (9420 / 48)$$

$$\text{Francobordo tropical} = 1885,63 \text{ mm}$$

Francobordo de invierno:

El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano un cuarenta y ochoavo del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla hasta el centro del anillo de la marca de francobordo.

Calculamos el francobordo de invierno:

$$\text{Francobordo de invierno} = \text{francobordo de verano} + (\text{calado de verano} / 48)$$

$$\text{Francobordo de invierno} = 2081,88 \text{ mm} + (9420 / 48)$$

$$\text{Francobordo de invierno} = 2278,13 \text{ mm}$$

Francobordo en el Atlántico Norte:

El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 metros (328 pies) que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte, definido en la regla 52 (Anexo II), durante el período estacional de invierno, será el francobordo de invierno más 50 milímetros (2 pulgadas). Para los demás buques el francobordo para el Atlántico Norte, invierno, será el francobordo de agua dulce. El buque proyecto se encuentra en la frontera de los 100 metros, ya que la eslora entre perpendiculares no pasa los 100 m, pero la eslora total sí. Para este cálculo se tendrá en cuenta que $L < 100$ m ya que el buque proyecto no presenta problemas de cumplimiento del francobordo, cumpliendo con bastante margen.

Calculamos el francobordo en el Atlántico Norte teniendo en cuenta que $L < 100$ m:

$$\text{Francobordo Atlántico Norte} = \text{Francobordo de invierno} + 50 \text{ mm}$$

$$\text{Francobordo Atlántico Norte} = 2278,13 \text{ mm} + 50 \text{ mm}$$

$$\text{Francobordo Atlántico Norte} = 2328,13 \text{ mm}$$

Francobordo en agua dulce:

Para la navegación del buque en agua dulce, el Convenio establece que, el francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada.

$$\Delta / (40 \times T)$$

Donde:

- Δ = desplazamiento en agua salada, en toneladas, en la flotación en carga de verano
- T = toneladas por centímetro (pulgada) de inmersión en agua salada, en la flotación en carga de verano

Ambos valores se obtienen de las hidrostáticas mediante el programa Maxsurf, resultando:

- $\Delta = 15866 \text{ t}$
- $T = \text{TPC} = 21,92$

Ya podemos calcular la reducción:

$$\text{Reducción francobordo agua dulce} = 15866 / (40 \times 21,92) = 18,1 \text{ mm}$$

Calculamos el francobordo en agua dulce:

Francobordo en agua dulce = francobordo mínimo agua salada – 18,1 mm

$$\text{Francobordo en agua dulce} = 1885,63 - 18,1 = 1867,53 \text{ mm}$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Francobordo de verano	<i>2081,88 mm</i>
Francobordo tropical	<i>1885,63 mm</i>
Francobordo de invierno	<i>2278,13 mm</i>
Francobordo en el Atlántico Norte	<i>2328,13 mm</i>
Francobordo en agua dulce	<i>1867,53 mm</i>

Tabla para francobordos mínimos en las diferentes situaciones de navegación

Calado de verano	<i>9,42 m</i>
Calado tropical	<i>9,615 m</i>
Calado de invierno	<i>9,222 m</i>
Calado en el Atlántico Norte	<i>9,172 m</i>
Calado en agua dulce	<i>9,63 m</i>

Tabla para calados máximos en las diferentes situaciones de navegación

4.3 Conclusiones sobre los cálculos realizados para el francobordo

La situación más desfavorable en cuanto al francobordo en la del buque proyecto navegando en el Atlántico Norte, que presenta un francobordo mínimo de 2328,13 mm y un calado máximo admitido de 9,172 m. El calado mayor obtenido en el Cuaderno 5 al analizar las diferentes condiciones de carga de operatividad del buque es de 8,193 m, cumpliendo sobradamente con el francobordo mínimo exigido para la condición más desfavorable:

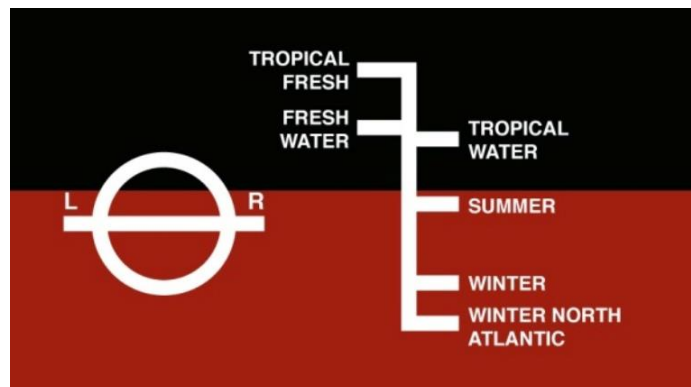
Francobordo Condición de carga 1	3307 mm
Francobordo mínimo Atlántico Norte	2328,13 mm

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

Esto quiere decir que el buque aún tendría margen para un mayor calado, lo que supone aumentar la capacidad de carga del mismo.

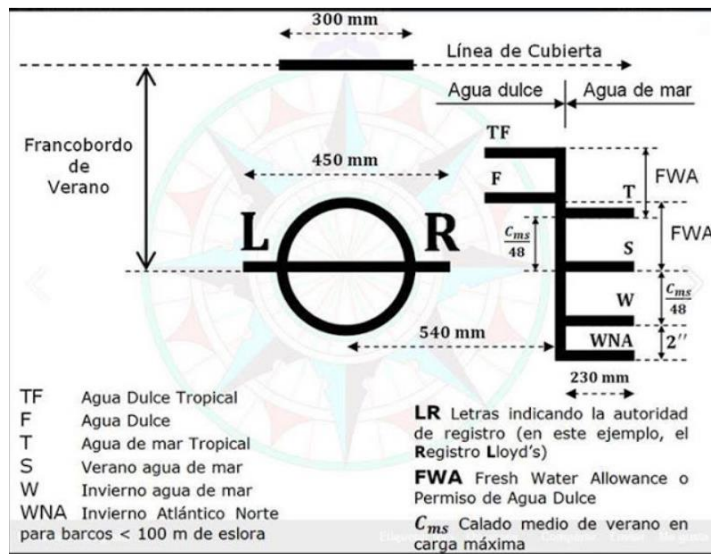
- **SOBRE EL DISCO PLIMSOLL:**

El disco Plimsoll se trata de una marca esquemática que llevan los buques pintada en su casco, su uso se impuso en el año 1875 por el parlamentario británico Samuel Plimsoll, 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. Dicho disco Plimsoll tiene la siguiente pinta:



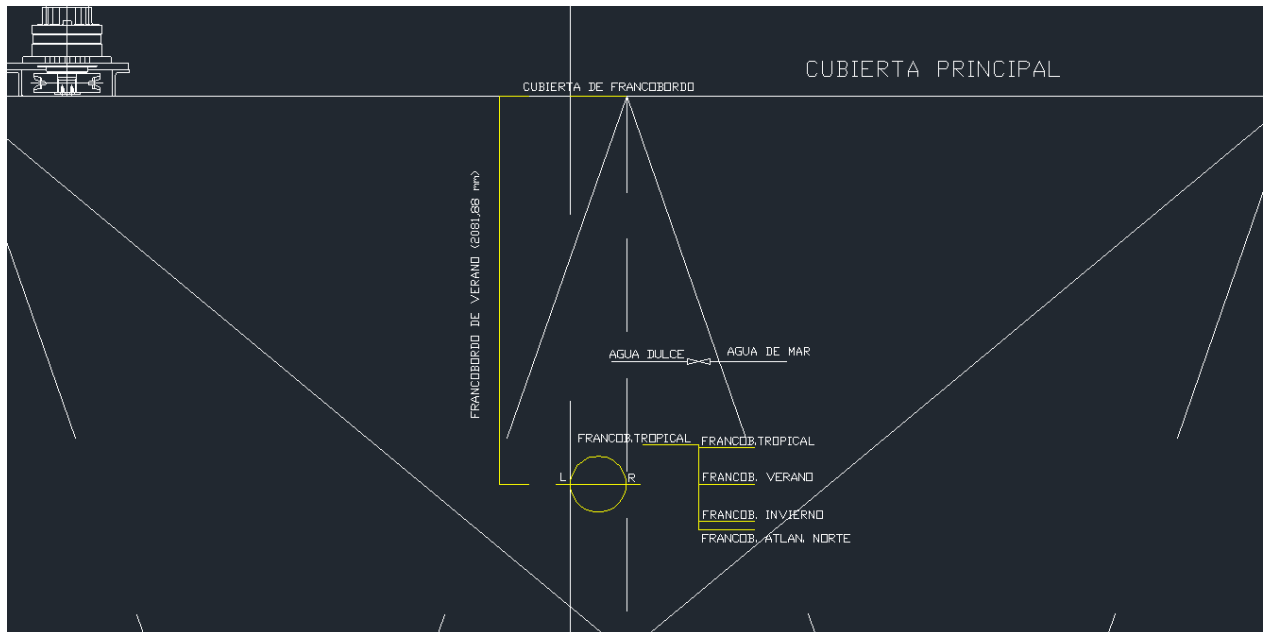
Ejemplo Disco Plimsoll

En cuanto a la representación comentada en el párrafo anterior (medidas, colocación etc) es la siguiente:



Representación gráfica del Disco de Plimsoll

Una vez dibujado el Disco Plimsoll con las medidas correspondientes para el buque proyecto, calculadas anteriormente, queda de la siguiente forma:



Disco Plimsoll "pintado" en el buque proyecto

La representación del Disco Plimsoll se puede observar en la disposición general del buque proyecto del Cuaderno 7. El puntal a la cubierta de francobordo se había

calculado de 9429,62 mm. Como la cubierta continua situada por encima es la cubierta principal, esta será la cubierta de francobordo.

5. Cálculo del arqueo según el Convenio Internacional sobre Arqueo de buques de 1969

El arqueo del buque es el modo de medir el tamaño de los buques a partir de su volumetría. Comprende el arqueo bruto y el arqueo neto. Los volúmenes han de ser tomados desde la cara interna de la chapa, se incluyen los apéndices. Los espacios abiertos al mar se excluyen. Para el cálculo del arqueo, tanto bruto como neto, se usará el Convenio Internacional sobre Arqueo de buques de 1969:

- **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:

$$GT = K1 \times V$$

Donde:

- $K1 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10}(V)$
- $V =$ volumen total de todos los espacios cerrados (m³)
- **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:

$$NT = K2 \times Vc \times (4 \times d / (3 \times D))^2 + K3 \times (N1 + (N2 / 10))$$

Donde:

- $(4 \times d / (3 \times D)) \leq 1$
- $K2 \times Vc \times (4 \times d / (3 \times D)) \geq 0,25 \text{ GT}$
- $K2 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10}(Vc)$
- $K3 = 1,25 \times ((GT + 10000) / 10000)$
- $NT \geq 0,3 \times GT$
- $D =$ puntal de trazado medido en el centro del buque (m)
- $d =$ calado de verano (m)
- $N1 =$ número de pasajeros alojados en camarotes de menos de 8 literas
- $N2 =$ el resto de pasajeros
- $Vc =$ volumen de los espacios de carga, obtenido mediante el programa Maxsurf
-

5.1 Cálculo del Arqueo Bruto (GT)

Para el cálculo del arqueo bruto necesitamos conocer previamente el valor del volumen de todos los espacios cerrados del buque proyecto. Dicho volumen será el volumen hasta la cubierta principal, obtenido mediante Maxsurf a un calado igual al puntal a la cubierta principal ($T = 11,5$ m), se obtendrá el desplazamiento del buque con un calado igual al puntal hasta la cubierta principal y se dividirá entre la densidad del agua salada para obtener el volumen, más el volumen de todos los espacios cerrados por encima de la cubierta principal, se tienen que calcular todos los volúmenes de las cubiertas situadas por encima, para ello se obtendrá el área de cada cubierta midiendo en el plano de la disposición general del Cuaderno 7 y multiplicando dicha área por el puntal de cada cubierta. A continuación, se detallan dichos volúmenes:

Volumen cerrado por debajo de la cubierta principal = $(\Delta (t) / 1,025 (t/ m^3)) m^3$

$\Delta (t)$ obtenido mediante las hidrostáticas por Maxsurf = 21221 t, ya podemos calcular el volumen por debajo de la cubierta principal:

Volumen cerrado por debajo de la cubierta principal = $(21221 t / 1,025 (t/ m^3)) = 20703,41 m^3$

Volumen espacios cerrados de la cubierta principal = $696,8 m^2 \times 2,8 m = 1951,04 m^3$

Volumen espacios cerrados de la cubierta A = $678,912 m^2 \times 2,8 m = 1900,95 m^3$

Volumen espacios cerrados de la cubierta B = $690 m^2 \times 2,8 m = 1932 m^3$

Volumen espacios cerrados de la cubierta C = $410,68 m^2 \times 2,8 m = 1150 m^3$

Volumen espacios cerrados de la cubierta D = $325,65 m^2 \times 2,6 m = 846,69 m^3$

Volumen espacios cerrados del puente de gobierno = $288 m^2 \times 2,65 m = 763,2 m^3$

Ya podemos conocer el valor del volumen total de espacios cerrados (V):

$$V = 29247,29 m^3$$

Una vez conocido V, podemos calcular el valor de K1:

$$K1 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10} (V) = 0,2 + 0,02 \times \log_{10} (29247,29 m^3) = 0,289$$

Ahora calculamos el valor del arqueo bruto:

Arqueo Bruto (GT) = $K1 \times V = 0,289 \times 29247,29$

$$GT = 8461,88$$

5.2 Cálculo del Arqueo Neto (NT)

Antes de comenzar el cálculo del arqueo neto del buque proyecto se debe conocer el volumen total de los espacios de carga que presenta el buque proyecto, este valor se obtiene del Maxsurf, el volumen total de los espacios de carga es de 5716,574 m³. Este valor se ha obtenido sumando los volúmenes de los tanques de carga de agua dulce, diésel oil, salmuera, cemento seco y barro de perforación, estos valores se pueden observar en la tabla de las capacidades reales de los tanques (suministro) del Cuaderno 4.

También se deben conocer los siguientes parámetros:

- D = puntal de trazado = 11,5 m
- d = calado de verano = 9,42 m
- N1 = 50 pasajeros
- N2 = 0 pasajeros

Ya podemos conocer el valor de K2:

$$K2 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10} (Vc) = 0,2 + 0,02 \times \log_{10} (5716,574 \text{ m}^3) = 0,275$$

Calculamos el valor de K3:

$$K3 = 1,25 \times ((GT + 10000) / 10000) = 2,31$$

Ya podemos conocer el valor del arqueo neto (NT):

$$((4 \times d) / (3 \times D))^2 = 1,19 > 1, \text{ por tanto: } ((4 \times d) / (3 \times D))^2 = 1$$

$$NT = 0,275 \times 5716,574 \times 1 + 2,31 \times (50 + 0)$$

$$NT = 1687,6$$

Comprobamos que se cumple que $NT \geq 0,3 \times GT$:

$$0,3 \times GT = 2538,564$$

$$NT = 1687,6 < (0,3 \times GT) = 2538,564$$

Por tanto:

$$\mathbf{NT = 2538,564}$$