



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2019/20

*BARCAZA BUNKERING MULTIPRODUCTO Y COLD
IRONING*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Julio Elías Sánchez

TUTOR

Raúl Villa Caro

FECHA

JULIO 2020

1 RPA

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.018-2019

PROYECTO NÚMERO 19-99

TIPO DE BUQUE: TOWED BUNKERING BARGE (BARCAZA DE BUNKERING SIN PROPULSIÓN PARA SER REMOLCADA)

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:

DNV GL Non self-propelled unit ICE CLASS C. Class notation: Barge SHELTERED WATERS. INTERNATIONAL VOYAGES. Código IMO para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel; Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978 y por el Protocolo de 1997 (Convenio MARPOL). Convenio Internacional sobre líneas de carga, 1966 Y ENMIENDAS. Convenio sobre el Reglamento Internacional para prevenir los abordajes, 1972 (Convenio COLREG). SOLAS ÚLTIMA EDICIÓN APLICABLE.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Capacidad de transporte y transferencia de LNG, así como operaciones de suministro eléctrico “cold ironing”. MULTIPRODUCTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES COMO HFO LSFO MDO 2500 TPM. 450 m³ de LNG.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 10 nudos siendo remolcada o empujada. Calcular la capacidad de las embarcaciones auxiliares para ello.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Tanque/s para LNG de tipo C y su correspondiente brazo de transferencia. Dos grupos electrógenos a gas y uno DF y una grúa de transferencia de cables situada en un costado.

PROPULSIÓN: No autopropulsada. Posibilidad de duplicar la capacidad del diseño mediante un tren de barcasas. 2 o 4 unidades máximo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 10 personas en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: DISPOSITIVO DE REMOLQUE POR PROA O DE SER EMPUJADA POR POPA.

Ferrol, 18 Marzo 2019

ALUMNO/A: **D^a Julio Elías Sánchez**

2 RESUMEN

2.1 Castellano

En estos Cuadernos se pretende reflejar el proceso completo del proyecto de diseño, construcción y evaluación económica de una barcaza de *bunkering* multiproducto, con capacidad de transporte tanto de combustibles navales tradicionales (HFO, MDO, LSFO) como de Gas Natural Licuado (LNG). Asimismo, el buque proyectado también será destinado a labores de suministro eléctrico entre buques (*Cold Ironing*).

2.2 Gallego

Nestes Cuadernos preténdese amosar o proceso completo do proxecto de diseño, construción e avaliación económica dunha barcaza de *bunkering* multiproducto, con capacidade de transporte tanto de combustibles navais tradicionais (HFO, MDO, LSFO) como de Gas Natural Licuado (LNG). Asemade, o buque proxectado tamén será destinado a labores de suministro eléctrico entre buques (*Cold Ironing*).

2.3 Inglés

In these Booklets the whole process of design, construction and economic evaluation of a multiproduct bunker barge, with capacity of transportation of traditional marine fuels (HFO, MDO, LSFO) and Liquefied Natural Gas (LNG). Likewise, the projected ship will also be destined to ship to ship electricity supply activities (Cold Ironing).



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2019/20**

*BARCAZA BUNKERING MULTIPRODUCTO Y COLD
IRONING*

Grado en Ingeniería Naval

Cuaderno 9:

FRANCOBORDO Y ARQUEO.

ÍNDICE

1 RPA	2
2 Resumen	3
2.1 Castellano.....	3
2.2 Gallego	3
2.3 Inglés.....	3
3 Introducción	6
4 Cálculo del Francobordo	7
4.1 Consideraciones Iniciales	7
4.1.1 Definiciones	7
4.1.2 Cálculo	9
5 Cálculo del Arqueo.....	15
5.1 Arqueo Bruto.....	15
5.2 Arqueo Neto.....	16
6 Anexo. Comprobación gráfica del francobordo.....	18

3 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se llevará a cabo el cálculo del francobordo mínimo reglamentario, valor que fija el calado máximo permitido para el buque proyecto, así como la altura mínima en proa que debe presentar.

Asimismo, se calcularán los arqueos bruto y neto, que son indicadores del tamaño y capacidad de carga de un buque y han sido tradicionalmente empleados en la industria marítima para la aplicación de tarifas portuarias y en canales, servicios de pilotaje, etc.

Para el cálculo del francobordo se empleará el “Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 y su Protocolo de 1988”, mientras que para el del arqueo seguiremos el “Convenio Internacional sobre el Arqueo de los Buques de 1969”.

Las dimensiones y coeficientes del buque proyecto empleadas en este cuaderno serán las mismas que las obtenidas en el cuaderno 3, a través del software de arquitectura naval Maxsurf.

ATB Bukering Barge		
Lpp	61.7	m
B	14.2	m
D	7.6	m
T	5.7	m
Δ	4267	ton
Sw	1609.098	m ²
Cb	0.834	
Cm	0.98	
Cp	0.851	
Cwl	0.913	
v	10	kts

4 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

4.1 Consideraciones Iniciales

El objetivo principal del Convenio Internacional de Líneas de Carga es el establecimiento de unos límites en el calado de los buques, basados en criterios técnicos y objetivos de seguridad y estabilidad. Estos límites se establecen en forma de francobordos (diferencias entre puntal y calado) mínimos, así como normativa relativa a la estanqueidad en aquellas zonas sometidas a la intemperie y a la integridad estructural del casco del buque.

Las reglas del Convenio tienen en cuenta los posibles peligros que pueden surgir en diferentes zonas y estacione del año. El anexo técnico contiene múltiples medidas adicionales de seguridad, relativas a puertas, desagües, escotillas y otros elementos problemáticos del buque. El objetivo de todas estas medidas es garantizar la integridad de la estanqueidad del casco por debajo de la denominada “cubierta de francobordo” (más adelante se explicará este término).

Las líneas de carga asignadas deben marcarse en cada costado en el centro de al eslora del buque, junto con la línea de la cubierta de francobordo.

En el Cuaderno 1 de este proyecto se realizó un estudio preliminar del francobordo del buque, para estudiar la viabilidad de las dimensiones alcanzadas tras el análisis de las alternativas estimadas. En este cuaderno se completará este estudio, empleando las formas finales del buque y alcanzando valores concretos y definitivos.

4.1.1 Definiciones

Para comenzar con el cálculo del francobordo primero se deben fijar una serie de dimensiones, que serán empleadas a través de diferentes fórmulas empíricas a lo largo del cálculo. Las definiciones de estas magnitudes pueden encontrarse en la Regla 3 del Convenio.

A continuación mostramos las definiciones más destacadas:

Eslora.

Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una 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 magnitud es mayor.

En los buques sin mecha del timón, se tomará como eslora (L) el 96% de la flotación correspondiente al 85% del puntal mínimo de trazado.

Tendremos en cuenta la segunda norma, ya que el buque del proyecto no cuenta con mecha del timón:

$$T (85\%D) = 0,85 \cdot 7,6 = 6,46 \text{ m}$$

$$L = 0,96 \cdot 61,8 = 59,33 \text{ m}$$

Perpendiculares.

Las perpendiculares de proa y de popa deberán tomarse en los extremos de proa y de popa de la eslora (L). La perpendicular de proa deberá coincidir con la cara de proa de la roda en la flotación en que se mide la eslora.

Centro del buque.

Será el punto medio de la eslora (L).

Manga.

La manga (B) será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna. En el caso de nuestro proyecto es:

$$B = 14,2 \text{ m}$$

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.

$$D = 7,6 \text{ m}$$

Puntal de francobordo.

Será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.

$$D = 7,6 + 0,009 = 7,609 \text{ m}$$

Coeficiente de bloque.

El coeficiente de bloque (C_b) vendrá dado por la fórmula:

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d_1}$$

Donde:

- ∇ : Será el volumen del desplazamiento de trazado del buque aun calado de trazado d_1 .
- L: Eslora de francobordo.
- B: Manga.
- d_1 : Calado al 85% del puntal mínimo de trazado.

$$C_b = \frac{4895}{1,025 \cdot 59,33 \cdot 14,2 \cdot 6,46} = 0,877$$

Manga de trazado (B)	14.20	m
Puntal mín. de trazado	7.60	m
Puntal mín. de trazado al 85%	6.46	m
Espesor de la cubierta de francobordo en el costado	9	mm
Puntal de Francobordo (D)	7.609	m
Eslora de flotación al 85% del puntal mín. de trazado	59.23	m
Eslora entre perpendiculares al 85% del puntal mín. de trazado	59.23	m
Eslora (L)	59.23	m
Volumen sin apéndices al 85% del puntal mín. de trazado	4764.992	m ³
Coeficiente de bloque (C_b)	0.877	

Otras definiciones importantes son las siguientes:

Cubierta de francobordo

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 nuestro caso se tratará de la cubierta principal, situada a una altura respecto a la línea de base igual al puntal de trazado del buque (7,6 m).

Superestructura

Toda construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extienda de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga de trazado.

En nuestro caso tanto la toldilla como el castillo de proa serán considerados superestructuras. Los tanques independientes tipo C no, ya que además de superar el criterio de distancia máximo al costado, no aportan flotabilidad.

4.1.2 Cálculo

Regla 27. Tipos de Buques.

Para el cálculo del francobordo los buques se clasificarán dentro de 2 categorías:

- Tipo A. Aquellos destinados exclusivamente al transporte de cargas líquidas a granel.
- Tipo B. Todos aquellos buques que no entren en la definición anterior.

El buque proyecto estará destinado a transportar combustible marino para fines de bunkering, tanto derivados del petróleo (HFO, MDO, LSFO) como GNL. Por lo tanto, será del tipo A.

Regla 28. Tablas de Francobordo.

El francobordo inicial (comúnmente definido como francobordo tabular) para los buques de tipo A, se determinará por medio de unas tablas suministradas por el Convenio y que adjuntamos a continuación:

TABLA A
Tabla de francobordo para buques de tipo "A"

Esloza del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Esloza del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Esloza del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
24	200	59	559	94	1044
25	208	60	573	95	1059
26	217	61	587	96	1074
27	225	62	600	97	1089
28	233	63	613	98	1105
29	242	64	626	99	1120
30	250	65	639	100	1135
31	258	66	653	101	1151
32	267	67	666	102	1166
33	275	68	680	103	1181
34	283	69	693	104	1196
35	292	70	706	105	1212
36	300	71	720	106	1228
37	308	72	733	107	1244
38	316	73	746	108	1260
39	325	74	760	109	1276
40	334	75	773	110	1293
41	344	76	786	111	1309
42	354	77	800	112	1326
43	364	78	814	113	1342
44	374	79	828	114	1359
45	385	80	841	115	1376
46	396	81	855	116	1392
47	408	82	869	117	1409
48	420	83	883	118	1426
49	432	84	897	119	1442
50	443	85	911	120	1459
51	455	86	926	121	1476
52	467	87	940	122	1494
53	478	88	955	123	1511
54	490	89	969	124	1528
55	503	90	984	125	1516
56	516	91	999	126	1563
57	530	92	1014	127	1580
58	544	93	1029	128	1598

Entrando en estas tablas con el valor de nuestra eslora (L) e interpolando entre los valores inmediatamente menor y mayor que aparecen en ellas, obteniendo así nuestro francobordo tabular:

Regla 28	
L	Francobordo
59	559
60	573
59.33	563

Regla 29. Corrección al francobordo para buques de L<100 m

Esta regla no es aplicable en buques de tipo A.

Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque.

Cuando el coeficiente de bloque (Cb) sea superior a 0,68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, después de ser modificado, si procede, se multiplicará por el factor:

$$\frac{Cb + 0,68}{1,36}$$

R-28	563
R-29	0
Francobordo	563
Factor	1.1449
R-30	82

Regla 31. Corrección por puntal.

Cuando D exceda L/15, el francobordo aumentará la siguiente cantidad:

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

Donde:

$$R = \frac{L}{0,48}$$

R	123.3958
Corrección	452
R-31	452

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

No es de aplicación al buque proyecto.

Regla 33. Altura normal de superestructuras.

La altura normal de la superestructura será la indicada en la tabla siguiente:

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

En nuestro caso, tendremos que interpolar para hallar la altura normal correspondiente a nuestra eslora:

L (m)	Cubierta de saltillo	Todas las demás superestructuras
59.33	1.095	1.8

Regla 34/35. Longitud efectiva de superestructuras.

Superestructura	Eslora (S)	Manga superestr. (b)	Manga barcaza (Bs)	Height	Effective Length (E)
Castillo de proa	11.460	13.400	13.400	4.400	11.460
Centro					
Toldilla	16.240	14.200	14.200	4.400	16.240

Regla 36. Troncos.

El buque del proyecto no presenta troncos.

Regla 37. Reducción por estructuras y troncos.

Cuando la longitud efectiva de superestructuras y troncos sea inferior a 1L, la reducción será un porcentaje obtenido en la tabla siguiente:

Eslora de la superestructura	27.7	m
Eslora de los troncos	0	m
Eslora efectiva (E)	27.7	m
Eslora efectiva en %L (E)	0.4677	*L
Deducción por 1L	644	mm

E	%
0.4	31
0.4677	37.8
0.5	41
R-37	-244

Regla 38. Arrufo.

Nuestro buque carece de arrufo, pero, aun así, habrá que realizar la siguiente corrección:

Arrufo estándar en el costado			
Sección	Ordenada	Factor	Producto
Perpendicular de popa	744	1	744
1/6 L desde la Ppp	330	3	990
1/3 L desde la Ppp	83	3	249
Centro del buque	0	1	0
Centro del buque	0	1	0
1/3 L desde la Ppp	167	3	501
1/6 L desde la Ppp	660	3	1980
Perpendicular de proa	1487	1	1487
			Arrufo en popa 1983
			Arrufo en proa 3968

Arrufo real en el costado			
Sección	Ordenada	Factor	Producto
Perpendicular de popa	0	1	0
1/6 L desde la Ppp	0	3	0
1/3 L desde la Ppp	0	3	0
Centro del buque	0	1	0
Centro del buque	0	1	0
1/3 L desde la Ppp	0	3	0
1/6 L desde la Ppp	0	3	0
Perpendicular de proa	0	1	0
			Arrufo en popa 0
			Arrufo en proa 0

Correcciones del arrufo por toldilla o castillo

	Real	Estándar	Diferencia	s
Castillo	4400	1800	2600	168
Toldilla	4400	1800	2600	238

Variación del arrufo en popa	-10
Variación del arrufo en proa	-328
Variación del arrufo	-169

Longitud total de las superestructuras (S1)	27.700	m
Extensión de las superestructuras en el centro del buque (en relación a L)	0.467	*L
Factor	0.5162	
Corrección	88	mm
Corrección al francobordo	88	mm
R-38	88	mm

Regla 39. Altura mínima en proa.

La altura mínima de proa (Fb), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento de proyecto y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$Fb = \left(6075 \cdot \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^3 \cdot (2,08 + 0,609 \cdot Cb - 1,603 \cdot Cwf - 0,0129 \cdot \left(\frac{L}{d1} \right)) \right)$$

Siendo:

- Fb=Altura mínima de proa (mm)
- L=Eslora def. en la regla 3 (m)
- B=Manga de trazado def. en la regla 3 (m)
- D1= Calado al 85% del puntal D (m)
- Cb=Coeficiente de bloque def. en la regla 3
- Awf=Área de flotación a proa de L/2 para el calado d1 (m2)
- Cwf=Coeficiente de área de flotación a proa de L/2 para el calado d1

Área de la flotación a proa de L/2 para calado d1 (Awf)	811.27	m2
---	--------	----

L	59.33
B	14.2
d1	6.46
Cb	0.877
Cwf	1.9291

Altura mínima de proa (Fb)	-1779	mm
Puntal en proa corregido por R39	12.009	m
Francobordo mínimo en proa	-6179	mm
Francobordo en agua salada	941	mm

Regla 39.2. Reserva de flotabilidad.

No aplicable al buque proyecto.

Regla 40. Francobordos mínimos.

Reglas del Convenio	Francobordo	Adiciones	Reducciones
R.28 Tabular	563		
R.29 Corrección por L<100 m	563		
R.30 Corrección por coeficiente de bloque	645	82	
R.31 Corrección por puntal	1097	452	
R.37 Corrección por superestructuras y troncos	853		-244
R.38 Corrección por arrufo	941	88	
Mínimo de verano	941		

Por tanto, el calado máximo de verano que puede presentar el buque proyecto es el siguiente:

$$T_{\text{verano máx}} = D - FB_{\text{verano}} = 7.6 - 0.941 = 6.668 \text{ m}$$

Recordemos que el calado de diseño del buque ha sido fijado en 5.7 m, lo que se corresponde con un francobordo de 1,9 m. Por lo tanto, en cuanto a criterios de seguridad, tendremos un margen de prácticamente 1 metro (0,959) en nuestro calado.

Por último, para finalizar el cálculo del francobordo debemos obtener los francobordos mínimos para el resto de áreas y estaciones:

- Francobordo Tropical.
- Francobordo de Invierno.
- Francobordo de Invierno en el Atlántico Norte.
- Francobordo de Agua Dulce.

Francobordo Tropical

Por definición, el francobordo mínimo en la zona tropical se obtiene 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:

$$FB_{\text{tropical}} = FB_{\text{verano}} - \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 0.941 - \frac{1}{48} \cdot 6.668 = 0.802 \text{ m}$$

Francobordo de Invierno

Por definición, 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:

$$FB_{\text{invierno}} = FB_{\text{verano}} + \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 0.941 + \frac{1}{48} \cdot 6.668 = 1.08 \text{ m}$$

Francobordo de Invierno en el Atlántico Norte

Por definición, el francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier área 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 será el francobordo de invierno.

En el caso del buque proyecto:

$$FB_{\text{invierno Atl. Norte}} = FB_{\text{invierno}} + 0.05 = 1.08 + 0.05 = 1.13 \text{ m}$$

Francobordo de Agua Dulce

Por definición, el francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada la siguiente cantidad:

$$\frac{\Delta}{40T} \text{ [cm]}$$

Siendo:

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

En el caso del buque proyecto:

$$FB_{\text{agua dulce}} = FB_{\text{verano}} - \frac{\Delta}{40T} = 941 - \frac{4765}{40 \cdot 8.316} = 926 \text{ mm} = 0.926 \text{ m}$$

5 CÁLCULO DEL ARQUEO

Como ya dijimos al comienzo del cuaderno, realizaremos el cálculo del arqueo del buque siguiendo las directrices del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969.

A modo aclaratorio, el arqueo tradicionalmente se ha empleado para medir la capacidad volumétrica de un buque. De este modo, el arqueo bruto nos da el volumen total del buque, mientras que el arqueo neto es la expresión de la capacidad de carga del mismo.

Como sucede con mucha terminología técnica, el arqueo suele expresarse con las siglas de su traducción al inglés. De esta manera, cuando se trata de arqueo bruto se habla de GT (Gross Tonnage) y cuando se trata de arqueo neto se habla de NT (Net Tonnage).

Por último, cabe destacar que el arqueo es un valor adimensional, por lo que no llevará unidades de medida asociadas al mismo.

5.1 Arqueo Bruto

En la Regla 3 del Convenio se muestra la fórmula a través de la cual se obtiene el arqueo bruto (GT):

$$GT = K1 \cdot V$$

Donde:

- V =Volumen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en m³.
- $K1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(V)$

Para calcular el volumen interno total del casco se ha decidido emplear una vez más el software de arquitectura naval Maxsurf, estudiando las hidrostáticas correspondientes a un calado equivalente a la totalidad del puntal del buque. Se ha considerado que el volumen de agua desplazado en esta condición de carga es equivalente al volumen interno del casco, despreciando así el tanto el grosor del forro del casco como toda la estructura interna (mamparos, cuadernas, cubiertas, etc.). El volumen ocupado por la superestructura (toldilla y castillo) será equivalente a la diferencia de desplazamientos a caldos de puntal y a de altura total de las mismas.

A continuación mostramos los desplazamientos resultantes y realizaremos los cálculos del volumen interno, del coeficiente K1 y del arqueo bruto del buque proyecto:

- $\Delta (T=D)=5851$ ton
- $\Delta (T=+D+hs)=7620$ ton

$$V_{casco} = \frac{\Delta_1}{\rho} = \frac{5851}{1,025} = 5708,3 \text{ m}^3$$

$$V_{superestructura} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\rho} = \frac{7620 - 5851}{1,025} = 1725,85 \text{ m}^3$$

$$V = V_{casco} + V_{superestructura} = 5708,3 + 1725,85 = 7434,15 \text{ m}^3$$

$$K1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(7434,15) = 0,277$$

$$GT = 0,277 \cdot 7434,15 = 2059$$

5.2 Arqueo Neto

El arqueo neto lo calcularemos mediante la siguiente expresión:

$$NT = K2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K3 \cdot \left(N1 + \frac{N2}{10}\right)$$

Siendo:

- $K2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(Vc)$
- $Vc = \text{Volumen de los espacios de carga (m}^3\text{)}$
- $D = \text{Puntal de trazado (7,6 m)}$
- $d = \text{Calado en la condición de máximo calado (5,7 m)}$
- $K3 = 1,25 \cdot \left(\frac{GT+10000}{10000}\right)$
- $N1 = \text{N}^\circ \text{ de pasajeros en camarotes d menos de 8 literas (0)}$
- $N2 = \text{N}^\circ \text{ de pasajeros que el buque está autorizado a llevar a bordo (0)}$

El volumen total de los espacios de carga será la suma del volumen de todos los tanques de carga útil, es decir, los estructurales del casco (destinados a HFO, MDO y LSFO) y los tipo C independientes sobre cubierta (destinados al transporte de LNG). Todos estos volúmenes pueden ser obtenidos en Maxsurf para la condición de plena carga:

Tanks	Quantity	Unit Mass (ton)	Total Mass (ton)	Unit Volume (m3)
HFO 2B	95%	206.976	175.93	206.976
HFO 1E	95%	236.544	201.062	236.544
HFO 1B	95%	236.544	201.062	236.544
HFO 2E	95%	206.976	175.93	206.976
LSFO E	95%	206.976	175.93	206.976
LSFO B	95%	206.976	175.93	206.976
MDO 1E	95%	236.338	200.887	236.338
MDO 1B	95%	236.338	200.887	236.338
MDO 2E	95%	231.969	197.174	231.969
MDO 2B	95%	231.969	197.174	231.969
MDO 3E	95%	181.93	154.641	181.93
MDO 3B	95%	181.93	154.641	181.93
SLOP E	95%	118.272	100.531	118.272
SLOP B	95%	118.272	100.531	118.272
GNL B	95%	217.484	184.861	217.484
GNL E	95%	217.484	184.861	217.484

$$Vc = \sum Vci = 4 \cdot (206,976 + 236.544) + 2 \cdot (231,969 + 181,93 + 118,272 + 217,484) = 3273,39 \text{ m}^3$$

Una vez calculado la capacidad de carga del buque proyecto, se procederá a comprobar que se cumplen los 2 criterios fijados por el Convenio:

$$\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 < 1 \rightarrow \left(\frac{4 \cdot 5,7}{3 \cdot 7,6}\right)^2 = 0,966 < 1 \quad OK$$

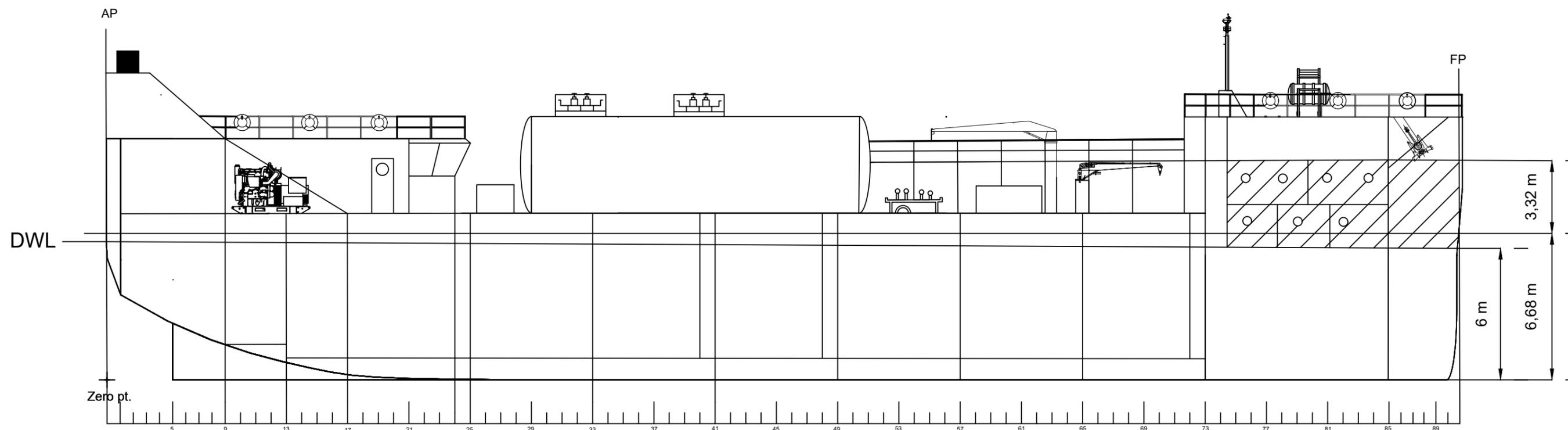
$$K2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 > 0,25 \cdot GT \rightarrow 0,2703 \cdot 3273,39 \cdot 0,966 = 854,714 > 0,25 \cdot 2059 = 514,75$$

Por otro lado, el valor final del arqueo neto no podrá ser inferior a 0,30GT:

$$NT \geq 0,30 \cdot GT = 0,30 \cdot 2059 = 617,7$$

$$NT = 854,714 + 1,25 \cdot \left(\frac{2059 + 10000}{10000}\right) \cdot \left(0 + \frac{0}{10}\right) = 856,221$$

6 ANEXO. COMPROBACIÓN GRÁFICA DEL FRANCOBORDO.



Unidad:		Nombre	Fecha	 Escuela Politécnica Superior UNIVERSIDADE DA CORUÑA
mm	Autor	Julio Elías	01/06/20	
	Tutor	Raúl Villa	01/06/20	Barcaza Bunkering y Cold Ironing
Escala:	Título del plano:			Proyecto N°:
1:200	Comprobación Francobordo			19-99