



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2019/2020

PETROLERO SUEZMAX 150000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Julián Rodríguez Cortegoso

TUTOR

Fernando Lago Rodríguez

FECHA

Septiembre, 2019

9.1. RPA



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA **TRABAJO FIN DE GRADO**

CURSO 2019-2020

PROYECTO NÚMERO: GENO-1920-04.

TIPO DE BUQUE: Petrolero Suezmax 150000 TPM.

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Crudo de densidad máxima 0,86 t/m³.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15 nudos (85 % MCR – 10 % MM) y 10000 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Cámara de bombas.

PROPULSIÓN: Diésel eléctrica.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 25 personas con camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este equipo.

Ferrol, 10 septiembre 2019

ALUMNO: D. JULIÁN RODRÍGUEZ CORTEGOSO



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2019/2020**

PETROLERO SUEZMAX 150000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 9

FRANCOBORDO Y ARQUEO

ÍNDICE

9.1. RPA	2
9.2. Introducción	6
9.3. Francobordo	7
9.3.1. Definiciones.....	7
9.3.1.1. Eslora.....	7
9.3.1.2. Manga.....	7
9.3.1.3. Puntal de trazado.....	7
9.3.1.4. Puntal de francobordo.....	7
9.3.1.5. Coeficiente de bloque	8
9.3.1.6. Francobordo.....	8
9.3.1.7. Cubierta de francobordo	8
9.3.1.8. Superestructura	8
9.3.1.9. Resultados finales.....	9
9.3.2. Regla 27: Tipo de buques.....	9
9.3.3. Regla 28: Tablas de francobordo.....	9
9.3.4. Regla 29: Corrección al francobordo para buques de eslora inferior a 100 m	10
9.3.5. Regla 30: Corrección por coeficiente de bloque.....	11
9.3.6. Regla 31: Corrección por puntal	11
9.3.7. Regla 32: Corrección por posición de la línea de cubierta	11
9.3.8. Regla 32-1: Corrección por nicho en la cubierta de francobordo	12
9.3.9. Regla 33: Altura normal de las superestructuras	12
9.3.10. Regla 34: Longitud de las superestructuras.....	12
9.3.11. Regla 35: Longitud efectiva de las superestructuras.....	12
9.3.12. Regla 36: Troncos	12
9.3.13. Regla 37: Reducción por superestructuras y troncos.....	12
9.3.14. Regla 38: Arrufo	12
9.3.15. Regla 39: Altura mínima de proa	14
9.3.16. Resumen	15
9.3.17. Regla 40: Francobordos mínimos	16
9.3.17.1. Francobordo de verano.....	16
9.3.17.2. Francobordo tropical	16
9.3.17.3. Francobordo de invierno	16
9.3.17.4. Francobordo de invierno en el Atlántico Norte.....	17
9.3.17.5. Francobordo de agua dulce	17
9.4. Arqueo	18
9.4.1. Definiciones.....	18

9.4.1.1 Cubierta superior	18
9.4.1.2. Puntal de trazado.....	18
9.4.1.3. Manga.....	18
9.4.1.4. Espacios cerrados	18
9.4.1.5. Pasajero.....	18
9.4.1.6. Espacios de carga	18
9.4.1.7. Calado de trazado.....	19
9.4.2. Arqueo bruto.....	19
9.4.3. Arqueo neto.....	20
9.5. Bibliografía.....	22
Anexo I: Buque base.....	23

9.2. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es calcular el francobordo y el arqueo del barco del proyecto. La normativa empleada para el desarrollo de este cuaderno será el *Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988* para la estimación del francobordo y el *Convenio Internacional Sobre Arqueo de Buques, 1969* para el arqueo.

En la siguiente tabla se muestran las características principales del barco del proyecto:

Dimensiones	Valor	Unidades
L _{pp}	263,6	m
B	48	m
D	24	m
T	17,2	m
Δ	186563	t
v	15	kn
C _b	0,823	-
C _p	0,826	-
C _m	0,996	-
C _{wf}	0,896	-

9.3. FRANCOBORDO

En este apartado se realizará el cálculo del francobordo del buque del proyecto aplicando las reglas del *Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988*.

Se define francobordo como la distancia medida verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta de francobordo hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente, la cual será la línea definida por la intersección del casco con la superficie del mar para unas condiciones de carga determinadas.

9.3.1. DEFINICIONES

9.3.1.1. ESLORA

El Convenio define la eslora de francobordo como:

“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 hasta el eje de la mecha del timón, si esta segunda magnitud es mayor.”

$$85 \% \cdot D_T = \frac{85}{100} \cdot 24 \text{ m} = 20,4 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 269,1 \text{ m}$$

$$96 \% \cdot L_{WL} = \frac{96}{100} \cdot 269,1 \text{ m} = 258,3 \text{ m}$$

$$L_{roda-mecha} = 264,676 \text{ m}$$

Se tomará como eslora de francobordo (L) la magnitud mayor:

$$\mathbf{L = 264,676 \text{ m}}$$

9.3.1.2. MANGA

“A menos que se indique expresamente otra cosa, la manga (B) 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.”

Para el barco del proyecto la manga será:

$$\mathbf{B = 48 \text{ m}}$$

9.3.1.3. PUNTAL DE TRAZADO

“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.”

$$\mathbf{D_T = 24 \text{ m}}$$

9.3.1.4. PUNTAL DE FRANCOBORDO

“El puntal de francobordo (D) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.”

El espesor de la cubierta principal se ha calculado en el *Cuaderno 8: Cuaderna maestra* y es de 9 mm, entonces el puntal de francobordo será:

$$D = D_T + e = 24 \text{ m} + 9 \text{ mm} = 24,009 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 24,009 \text{ m}}$$

9.3.1.5. COEFICIENTE DE BLOQUE

“El coeficiente de bloque (C_B) vendrá definido por la fórmula:

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

Donde:

∇ será el volumen del desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, en un buque con forro metálico, y el volumen de desplazamiento de la superficie exterior del casco en los buques con forro de cualquier otro material, ambos tomados a un calado de trazado de d_1 ; siendo

d_1 el 85 % del puntal mínimo de trazado.”

$$d_1 = 85 \% \cdot D_{\min} = \frac{85}{100} \cdot 24 \text{ m} = 20,4 \text{ m}$$

Entrando con este valor en el *Maxsurf* obtenemos la siguiente tabla de hidrostáticas:

Displacement	224619	t
Volume (displaced)	219140,0	m ³
Draft Amidships	20,400	m
Immersed depth	20,400	m
Waterpl. Area	11675,596	m ²

El coeficiente de bloque es:

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d_1} = \frac{219140 \text{ m}^3}{264,676 \text{ m} \cdot 48 \text{ m} \cdot 20,4 \text{ m}} = 0,8455$$

$$\mathbf{C_b = 0,8455}$$

9.3.1.6. FRANCOBORDO

“El francobordo asignado será la distancia media verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente.”

9.3.1.7. CUBIERTA DE FRANCOBORDO

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

En el barco del proyecto, la cubierta de francobordo será la cubierta al puntal de francobordo:

$$\mathbf{D = 24,009 \text{ m}}$$

9.3.1.8. SUPERESTRUCTURA

“Una superestructura será una construcción provista de techo y 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 (B).”

$$\frac{4}{100} \cdot 48 \text{ m} = 1,92 \text{ m}$$

En nuestro caso no contaremos con ninguna superestructura, ya que hay una separación de más de 7 metros entre el forro lateral de la toldilla de popa y el forro del costado del barco.

9.3.1.9. RESULTADOS FINALES

La siguiente tabla muestra un resumen de las dimensiones que se emplearán en el cálculo del francobordo:

Manga de trazado (B)	48	m
Puntal mínimo de trazado	24	m
Puntal mínimo de trazado al 85%	20,4	m
Espesor de la cubierta de francobordo en el costado	9	mm
Puntal de francobordo (D)	24,009	m
Eslora de flotación al 85% del puntal mínimo de trazado	269,07	m
Eslora entre perpendiculares a 20,825 m de calado	264,676	m
Eslora (L)	264,676	m
Volumen sin apéndices a 20,825 m de calado	219140	m ³
Coefficiente de bloque	0,8455	-

9.3.2. REGLA 27: TIPO DE BUQUES

“Para el cálculo del francobordo los buques se dividirán en dos tipos: ‘A’ y ‘B’.

Buque de tipo A será el que:

- *haya sido proyectado para transportar solamente cargas líquidas a granel;*
- *tenga una gran integridad en la cubierta expuesta y sólo pequeñas aberturas de acceso a los compartimientos de carga, cerradas por tapas de acero u otro material equivalente, estancas y dotadas de frisas; y*
- *tenga baja permeabilidad de los espacios de carga llenos.*

Los buques que no se ajusten a lo dispuesto para los buques de tipo ‘A’ se considerarán buques de tipo ‘B’.”

El barco del proyecto es de tipo A por cumplir con todas las características que le corresponden a este tipo.

R-27 Tipos de buques	
Tipo de buque	A

9.3.3. REGLA 28: TABLAS DE FRANCOBORDO

“El francobordo tabular para los buques de tipo ‘A’ se determinará por medio de la tabla:

Tabla 28.1

Tabla de francobordo para buques de tipo 'A' (Continuación)

Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)	Eslora del buque (m)	Francobordo (mm)
157	2080	202	2632	247	2993
158	2096	203	2641	248	3000
159	2111	204	2650	249	3006
160	2126	205	2659	250	3012
161	2141	206	2669	251	3018
162	2155	207	2678	252	3024
163	2169	208	2687	253	3030
164	2184	209	2696	254	3036
165	2198	210	2705	255	3042
166	2212	211	2714	256	3048
167	2226	212	2723	257	3054
168	2240	213	2732	258	3060
169	2254	214	2741	259	3066
170	2268	215	2749	260	3072
171	2281	216	2758	261	3078
172	2294	217	2767	262	3084
173	2307	218	2775	263	3089
174	2320	219	2784	264	3095
175	2332	220	2792	265	3101

Los francobordos correspondientes a esloras intermedias se obtendrán por interpolación lineal.”

Entrando en las tablas con el valor de la eslora (L) e interpolando se obtiene el francobordo tabular:

$$\frac{265 \text{ m} - 264 \text{ m}}{3101 \text{ mm} - 3095 \text{ mm}} = \frac{265 \text{ m} - 264,676 \text{ m}}{3103 - \text{Francobordo tabular}}$$

Francobordo tabular = 3100 mm

L (m)	Francobordo (mm)
264	3095
265	3101
264,676	3100

9.3.4. REGLA 29: CORRECCIÓN AL FRANCOBORDO PARA BUQUES DE ESLORA INFERIOR A 100 M

Esta regla no se aplica al barco del proyecto.

R-29 = 0 mm

R-29	0
------	---

9.3.5. REGLA 30: CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE

“Cuando el coeficiente de bloque (C_B) sea superior a 0,68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, después de ser modificado, si procede, por las reglas 27 8), 27 10) y 29, se multiplicará por el factor

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

El coeficiente de bloque no se supondrá superior a 1,0.”

El coeficiente de bloque es superior a 0,68, por lo que hay que aplicar esta corrección:

$$Factor = \frac{0,8455 + 0,68}{1,36} = 1,1217$$

$$R - 30 = (1,1217 \cdot 3100mm) - 3100 mm = 378 mm$$

$$\mathbf{R-30 = 378 mm}$$

R-28	3100
R-29	0
Francobordo	3093
Factor	1,1217
R-30	378

9.3.6. REGLA 31: CORRECCIÓN POR PUNTAL

“Cuando D exceda de $L/15$, el francobordo se aumentará en:

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

Siendo:

$R = 250$ para esloras de 120 m o mayores.”

Comprobamos si aplicamos esta regla:

$$D = 24,009 m > \frac{L}{15} = \frac{264,676 m}{15} = 17,65 m$$

Se cumple la condición, por lo tanto, la corrección por puntal es:

$$R - 31 = \left(24,009 m - \frac{264,676 m}{15}\right) \cdot 250 = 1591 mm$$

$$\mathbf{R-31 = 1591 mm}$$

R-31	1591
------	------

9.3.7. REGLA 32: CORRECCIÓN POR POSICIÓN DE LA LÍNEA DE CUBIERTA

No se aplica esta regla.

$$\mathbf{R-32 = 0 mm}$$

R-32	0
------	---

9.3.8. REGLA 32-1: CORRECCIÓN POR NICHOS EN LA CUBIERTA DE FRANCOBORDO

Este barco carece de nichos y por tanto no se aplica esta regla.

$$R-32.1 = 0 \text{ mm}$$

R-32.1	0
--------	---

9.3.9. REGLA 33: ALTURA NORMAL DE LAS SUPERESTRUCTURAS

Este barco carece de superestructuras a efecto de francobordo como ya se ha justificado previamente.

9.3.10. REGLA 34: LONGITUD DE LAS SUPERESTRUCTURAS

No se aplica esta regla.

9.3.11. REGLA 35: LONGITUD EFECTIVA DE LAS SUPERESTRUCTURAS

No se aplica esta regla.

9.3.12. REGLA 36: TRONCOS

Este barco carece de troncos por lo tanto esta regla no se aplica

9.3.13. REGLA 37: REDUCCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS Y TRONCOS

No se aplica esta regla.

$$R-37 = 0 \text{ mm}$$

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

9.3.14. REGLA 38: ARRUFOS

“Las ordenadas de la curva de arrufo normal se dan en la tabla siguiente:

Tabla 38.1.
 Curva de arrufo normal
 (L en m)

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

Quando la curva de arrufo sea diferente de la normal, las cuatro ordenadas de cada una de las curvas en las mitades de proa o de popa se multiplicarán por los factores correspondientes que se dan en la tabla de ordenadas. La diferencia entre la suma de

los productos así obtenidos y la de los productos correspondientes al arrufo normal, dividida por ocho, indica el defecto o exceso de arrufo en las mitades de proa o de popa. La media aritmética de los valores así obtenidos expresa el exceso o defecto de arrufo de la cubierta.

La corrección por arrufo deberá ser el defecto o exceso de arrufo multiplicado por:

$$0,75 - \frac{S_1}{2 \cdot L}$$

Siendo S_1 la longitud total S de las superestructuras sin los troncos.

Cuando el arrufo sea inferior al normal, la corrección por defecto de arrufo se añadirá al francobordo.”

La cubierta de francobordo del barco del proyecto no tiene arrufo, pero a ello debemos comparar la curva de arrufo normal con la real y si esta última es inferior se añadirá al francobordo una corrección de arrufo por defecto.

La tabla correspondiente a la curva de arrufo real:

	Situación	Ordenada	Factor	Producto		
Mitad de popa	Perpendicular de popa	0	1	0	Arrufo popa	0
	1/6 L desde la P. de Pp.	0	3	0		
	1/3 L desde la P. de Pp.	0	3	0		
	Centro del buque	0	1	0		
Mitad de proa	Centro del buque	0	1	0	Arrufo proa	0
	1/3 L desde la P. de Pr.	0	3	0		
	1/6 L desde la P. de Pr.	0	3	0		
	Perpendicular de proa	0	1	0		

La tabla correspondiente a la curva de arrufo normal:

	Situación	Ordenada	Factor	Producto		
Mitad de popa	Perpendicular de popa	2456	1	2456	Arrufo popa	6551
	1/6 L desde la P. de Pp.	1090	3	3270		
	1/3 L desde la P. de Pp.	275	3	825		
	Centro del buque	0	1	0		
Mitad de proa	Centro del buque	0	1	0	Arrufo proa	13104
	1/3 L desde la P. de Pr.	550	3	1650		
	1/6 L desde la P. de Pr.	2181	3	6543		
	Perpendicular de proa	4911	1	4911		

El barco del proyecto penaliza por un defecto de arrufo con respecto a la curva de arrufo normal. La variación de arrufo en las zonas de popa y de proa será:

$$\text{Variación arrufo popa} = \frac{\text{arrufo real} - \text{arrufo normal}}{8} = \frac{0 - 6551 \text{ mm}}{8} = -818 \text{ mm}$$

$$\text{Variación arrufo proa} = \frac{\text{arrufo real} - \text{arrufo normal}}{8} = \frac{0 - 13104 \text{ mm}}{8} = -1638 \text{ mm}$$

La media aritmética define la variación de arrufo total:

$$\text{Variación de arrufo} = \frac{-818 \text{ mm} - 1638 \text{ mm}}{2} = -1228 \text{ mm}$$

La corrección por defecto de arrufo será:

$$\begin{aligned} \text{Corrección} &= \text{variación de arrufo} \cdot \left(0,75 - \frac{S_1}{2 \cdot L}\right) = \\ &= -1228 \text{ mm} \cdot \left(0,75 - \frac{0}{2 \cdot 264,676 \text{ m}}\right) = -921 \text{ mm} \end{aligned}$$

La corrección de esta regla será positiva, es decir, se añadirá 921 mm por tratarse de un defecto de arrufo:

R-38: 921 mm

Variación de arrufo de popa	-818
Variación de arrufo de proa	-1638
Variación de arrufo	-1228
Factor	0,75
Corrección	921
R-38	921

9.3.15. REGLA 39: ALTURA MÍNIMA DE PROA

“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:

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

Siendo:

F_b : altura mínima de proa calculada, en mm.

L : eslora definida en la regla 3, en m.

B : manga de trazado definida en la regla 3, en m.

d_1 : el calado en el 85% del puntal D , en m.

C_b : coeficiente de bloque definido en la regla 3.

C_{wf} : coeficiente de área de la flotación a proa de $L/2$:

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

A_{wf} : área de flotación a proa de $L/2$ para el caso d_1 , en m^2 .”

El valor del área de la flotación se ha medido con AutoCad para la flotación dada por el calado d_1 . El valor obtenido es de 5879,81 m^2 .

El coeficiente de área de la flotación será:

$$C_{wf} = \frac{2 \cdot 5879,81 \text{ m}^2}{264,676 \text{ m} \cdot 48 \text{ m}} = 0,9256$$

La siguiente tabla recoge los valores que se emplearán para el cálculo de esta regla:

Awf	5879,81	m ²
L	264,676	m
B	48	m
d ₁	20,4	m
Cb	0,8455	m
Cwf	0,9256	-

Se obtiene el siguiente valor de altura mínima de proa:

$$Fb = 6279 \text{ mm}$$

Comparando este valor con la altura real que se obtiene sumando las reglas anteriores:

$$Altura \text{ real} = 3100 \text{ mm} + 378 \text{ mm} + 1591 \text{ mm} + 921 \text{ mm} = 5990 \text{ mm}$$

$$Altura \text{ real} = 5990 \text{ mm}$$

Como el valor de altura mínima de proa es superior a la altura real la corrección que se aplica en esta regla será la diferencia entre ambas:

$$Corrección = 6279 \text{ mm} - 5990 \text{ mm} = 289 \text{ mm}$$

$$R-39.1 = 289 \text{ mm}$$

R-39.1	289	mm
--------	-----	----

9.3.16. RESUMEN

La siguiente tabla muestra un resumen de las correcciones obtenidas:

R-28	3100	mm
R-29	0	mm
R-30	378	mm
R-31	1591	mm
R-32.1	0	mm
R-37	0	mm
R-38	921	mm
Σ	5990	mm
R-39.1	289	mm
R-39.2	0	mm
Σ	6279	mm

Este francobordo permite un calado de:

$$T_{FB} = D - Fb = 24009 \text{ mm} - 6279 \text{ mm} = 17,73 \text{ m}$$

Pese a que el Convenio permite un calado de 17,73 m, este deberá ser corregido por estabilidad, ya que como se ha visto en el *Cuaderno 5: Situaciones de carga* el mayor calado se produce en la condición de "Llegada a plena carga" con un valor de 17,089 m como muestra la siguiente tabla:

Draft Amidships	17,089	m
Displacement	185285	T
Draft at FP	16,597	m
Draft at AP	17,581	m

Con lo cual se aplicará la siguiente corrección por estabilidad:

$$Corrección \text{ por estabilidad} = 17730 \text{ mm} - 17089 \text{ mm} = 641 \text{ mm}$$

Esto hace que el valor del francobordo quede en:

$$Fb = 6279 \text{ mm} + 641 \text{ mm} = 6920 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Fb = 6920 \text{ mm}}$$

9.3.17. REGLA 40: FRANCOBORDOS MÍNIMOS

9.3.17.1. FRANCOBORDO DE VERANO

“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.

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

$$Fb_{\text{verano}} = 3100 \text{ mm} + 378 \text{ mm} + 1591 \text{ mm} + 921 \text{ mm} + 289 \text{ mm} + 641 \text{ mm} = 6920 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Fb_{\text{verano}} = 6920 \text{ mm}}$$

El calado de verano será:

$$T_{\text{verano}} = D - Fb_{\text{verano}} = 24009 \text{ mm} - 6920 \text{ mm} = 17089 \text{ mm}$$

$$\mathbf{T_{\text{verano}} = 17,089 \text{ m}}$$

9.3.17.2. FRANCOBORDO TROPICAL

“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.

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

Como no disponemos de ninguna condición de carga en la que el buque cale más que el calado de verano (calado correspondiente a la condición de máxima carga), no será posible realizar ninguna disminución de este francobordo, por lo que el francobordo tropical es igual al francobordo de verano:

$$\mathbf{Fb_{\text{tropical}} = 6920 \text{ mm}}$$

9.3.17.3. FRANCOBORDO DE INVIERNO

“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.”

$$Fb_{\text{invierno}} = Fb_{\text{verano}} + \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 6920 \text{ mm} + \frac{1}{48} \cdot 17089 \text{ mm} = 7276 \text{ mm}$$

$$\mathbf{Fb_{\text{invierno}} = 7276 \text{ mm}}$$

El calado de invierno será:

$$T_{\text{invierno}} = D - Fb_{\text{invierno}} = 24009 \text{ mm} - 7276 \text{ mm} = 16733 \text{ mm}$$

$$\mathbf{T_{\text{invierno}} = 16,733 \text{ m}}$$

9.3.17.4. FRANCOBORDO DE INVIERNO EN EL ATLÁNTICO NORTE

“El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier parte del Atlántico Norte, 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.”

$$Fb_{AN} = Fb_{invierno} = 7276 \text{ mm}$$

$$T_{AN} = T_{invierno} = 16,773 \text{ m}$$

9.3.17.5. FRANCOBORDO DE AGUA DULCE

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

$$\frac{\Delta}{40 \cdot T} \text{ (cm)}$$

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.

Cuando el desplazamiento en la flotación en carga de verano no pueda determinarse con seguridad, la deducción será 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla hasta al centro del anillo de la marca de francobordo.”

La siguiente tabla muestra las hidrostáticas del buque proyecto para el calado de verano:

Draft Amidships	17,089	m
Displacement	185285	T
Draft at FP	16,597	m
Draft at AP	17,581	m
Inmersion (TPC)	118,262	tonne/cm

El francobordo en agua dulce tendrá un valor de:

$$Fb_{AD} = Fb_{verano} - \frac{\Delta}{40 \cdot T} = 6920 \text{ mm} - \frac{185285}{40 \cdot 11,8262} = 6528 \text{ mm}$$

$$Fb_{AD} = 6528 \text{ mm}$$

El calado en agua dulce será:

$$T_{AD} = D - Fb_{AD} = 24009 \text{ mm} - 6528 \text{ mm} = 17480 \text{ mm}$$

$$T_{AD} = 17,48 \text{ m}$$

9.4. ARQUEO

En este apartado se realizará el cálculo del arqueo del barco del proyecto mediante el *Convenio Internacional Sobre Arqueo de Buques, 1969*.

Se define arqueo como el volumen o espacio cerrado de una embarcación, 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.

9.4.1. DEFINICIONES

9.4.1.1 CUBIERTA SUPERIOR

“La cubierta superior es la cubierta más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierres estancos de 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.”

La cubierta superior en nuestro barco es la cubierta principal.

9.4.1.2. PUNTAL DE TRAZADO

“El puntal de trazado es la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado.”

$$D = 24 \text{ m}$$

9.4.1.3. MANGA

“La manga es la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo, fuera de miembros en los buques de forro metálico, o fuera de forros en los buques de forro no metálico.”

$$B = 48 \text{ m}$$

9.4.1.4. ESPACIOS CERRADOS

“Son espacios cerrados todos los limitados por el casco del buque, por mamparos fijos o móviles y por cubiertas o techos que no sean toldos permanentes o móviles. Ninguna interrupción en una cubierta, ni abertura alguna en el casco del buque, en una cubierta o en el techo de un espacio, ni tampoco la ausencia de mamparos impedirá la consideración de un espacio como espacio cerrado.”

9.4.1.5. PASAJERO

“Por pasajero se entiende toda persona que no sea:

- *el capitán y los miembros de la tripulación u otras personas empleadas o contratadas para cualquier labor de a bordo necesaria para el buque, y*
- *un niño menor de un año.”*

El buque del proyecto es un barco de carga por lo que no cuenta con pasajeros.

9.4.1.6. ESPACIOS DE CARGA

“Los espacios de carga que deben incluirse en el cálculo del arqueo neto son los espacios cerrados adecuados para el transporte de la carga que ha de descargarse del buque, a condición de que esos espacios hayan sido incluidos en el cálculo del arqueo bruto. Estos espacios de carga serán certificados mediante marcas permanentes.”

9.4.1.7. CALADO DE TRAZADO

“El calado de trazado (d) será uno de los siguientes calados:

- para los buques sujetos a las disposiciones del Convenio Internacional sobre Líneas de Carga, el calado correspondiente a la línea de carga de verano asignada de conformidad con este Convenio.”

$$d = 17,089 \text{ m}$$

9.4.2. ARQUEO BRUTO

El arqueo bruto de un buque (GT) se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$GT = K_1 \cdot V$$

En la cual:

V = volumen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en metros cúbicos,

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

El volumen lo desglosaremos en volumen bajo la cubierta principal y el volumen de los espacios cerrados por encima de dicha cubierta.

El volumen bajo cubierta puede calcularse con las tablas hidrostáticas del buque para un calado igual a la altura del puntal como se muestra a continuación:

Displacement	267982	t
Volume (displaced)	261446,093	m ³
Draft Amidships	24,000	m
Immersed depth	24,000	m

Con volumen de los espacios cerrados nos referimos a la superestructura y a la chimenea. Estos valores se obtienen del *Cuaderno 7: Disposición general* y son los siguientes:

Superestructura	Altura (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Volumen (m ³)
Cubierta principal	3	16,8	25	1260
Cubierta A	3	16,8	25	1260
Cubierta B	3	16,8	25	1260
Cubierta C	3	16,8	25	1260
Puente de navegación	3	16,8	12,7	642,1
Guardacalor	8,5	9,6	25	2040
Chimenea	11,5	7,2	6,2	513,4
Σ				8235,4

Haciendo un volumen total de espacios cerrado igual a:

$$V = V_C + V_S = 261446,093 \text{ m}^3 + 8235,4 \text{ m}^3 = 269681,54 \text{ m}^3$$

El valor del factor K_1 es:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \log_{10}(269681,54) = 0,3086$$

Y el arqueo bruto:

$$GT = 0,3086 \cdot 269681,54 \text{ m}^3 = 83228,3 \text{ GT}$$

Comparando este valor con el de los siguientes barcos de la base de datos:

Spyros K	81000	GT
Brightway	83830	GT
Eagle San Antonio	80783	GT
Milos	81000	GT

Se comprueba que el arqueo bruto del barco del proyecto es similar al de los barcos de la base de datos, por lo que daremos por válido el valor calculado:

$$GT = 83228 \text{ GT}$$

9.4.3. ARQUEO NETO

“El arqueo neto (NT) de un buque se calcula aplicando la siguiente fórmula:

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

En la cual:

El factor $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará superior a 1;

El término $K_2 V_c \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará inferior a 0,25 GT; y

NT no se tomará inferior a 0,30 GT, y:

V_c es el volumen total de los espacios de carga, en metros cúbicos.

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

$$K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT + 10000}{10000}$$

D = puntal de trazado en el centro del buque expresado en metros,

d = calado de trazado en el centro del buque expresado en metros,

N_1 = número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas,

N_2 = número de los demás pasajeros

N_1, N_2 = número total de pasajeros que el buque está autorizado a llevar según el certificado de pasajeros del buque; cuando $N_1 + N_2$ sea inferior a 13 las magnitudes N_1 y N_2 se considerarán iguales a cero.”

Como ya se ha comentado previamente este barco no tiene pasajeros por lo que la ecuación del arqueo neto se reduce a:

$$NT = K_2 V_c \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$$

El valor del siguiente factor no se tomará superior a 1:

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 17,089 \text{ m}}{3 \cdot 24 \text{ m}}\right)^2 = 0,90 < 1$$

El volumen de los espacios de carga V_c se obtiene con el *Maxsurf*. Para un llenado del 98 % considerando un 98 % de permeabilidad tenemos los siguientes valores:

Espacios de carga		
Slop BR	2370,617	m ³
Slop ER	2370,617	m ³
Carga Nº6 BR	13697,913	m ³
Carga Nº6 ER	13697,913	m ³
Carga Nº5 BR	14017,777	m ³
Carga Nº5 ER	14017,777	m ³
Carga Nº4 BR	14018,000	m ³
Carga Nº4 ER	14018,000	m ³
Carga Nº3 BR	14018,000	m ³
Carga Nº3 ER	14018,000	m ³
Carga Nº2 BR	14017,782	m ³
Carga Nº2 ER	14017,782	m ³
Carga Nº1 BR	12763,843	m ³
Carga Nº1 ER	12763,843	m ³
Σ	169807,864	m³

Una vez que disponemos de todos los datos necesarios procedemos con el cálculo del arqueo neto:

$$NT = 0,2 + 0,02 \log_{10}(169807,864) \cdot 169807,864 \text{ m}^3 \cdot 0,90 = 46585,3 \text{ NT}$$

$$\mathbf{NT = 46585 \text{ NT}}$$

Este valor no puede ser inferior al 30 % del arqueo bruto:

$$NT = 46585 \text{ NT} > \frac{30}{100} \cdot 83228 \text{ GT} = 24968 \text{ GT}$$

Vemos que cumplimos con esta condición holgadamente.

9.5. BIBLIOGRAFÍA

Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988.

Convenio Internacional Sobre Arqueo de Buques, 1969.

ANEXO I: BUQUE BASE



SPYROS K: Suezmax tanker for Tsakos Energy Navigation Ltd

Shipbuilder: **Sungdong Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd**
 Vessel's name: **Spyros K**
 Hull No.: **S2034**
 Owner/operator: **Tsakos Energy Navigation Limited**
 Country: **Greece**
 Designer: **Sungdong Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd**
 Country: **Korea**
 Model test establishment used: **MOERI, Korea**
 Flag: **Liberia**
 IMO number: **9565948**
 Total number of sister ships already completed (excluding ship presented): **1**
 Total number of sister ships still on order: **nil**

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 274.2m
 Length bp: 264m
 Breadth moulded: 48m
 Depth moulded
 To main deck: 23.1m
 To upper deck: 23.1m
 Width of double skin
 Side: 2.5m
 Bottom: 2.8m
 Draught
 Scantling: 17.15m
 Design: 16m
 Gross: 81,000tonnes
 Deadweight
 Design: 145,000dwt
 Scantling: 158,000dwt
 Speed, service: 15.7knots @ 90% mCR with 15% sea margin
 Cargo capacity
 Liquid volume: 170,000m³
 Bunkers
 Heavy oil: 4500m³
 Diesel oil: 200m³
 Water ballast: 54,000m³
 Daily fuel consumption
 Main engine only: 69.3tonnes/day
 Classification society and notations: ABS A1(E), Oil Carrier, ESP, CRS, AB-CM, CPS, UWILD, +AMS, +ACCU, TCM, COW, VEC-L, BWE, ENVIRO, HM2+R, CRC, RW, PMA, GP
 % high tensile steel used in construction: abt. 40%
 Main engine
 Design: 2-stroke, direct revidible, crosshead
 Model: 6S70MC-C7 Tier II
 Manufacturer: Hyundai-MAN B&W
 Number: 1
 Type of fuel: HFO, MDO or MGO
 Output of each engine: 18,660kW x 91rpm
 Propeller
 Material: Ni-Al-Bronze
 Designer/manufacturer: HHI
 Number: 1
 Fixed/controllable pitch: Fixed
 Diameter: 8.2m
 Speed: 91rpm
 Diesel-driven alternators
 Number: 3
 Engine make/type: HHI/ Himsen 6H21/32
 Type of fuel: HFO, MDO or MGO
 Output/speed of each set: 1050kW/ 720rpm
 Alternator make/type: HHI-EES/ HFC7-564-14E
 Output/speed of each set: 987kW/ 720rpm
 Boilers
 Number: 2 x Aux. boilers
 1 x comp. boiler
 Type: oil fired, vertical, water tube & forced draft
 Make: Aalborg
 Output, each boiler:
 Aux boiler: 37,200kg/h
 Comp. boiler: 1500kg/h oil fired
 1200kg/h exh. Gas

Cargo cranes/ cargo gear
 Number: 2
 Make: Oriental
 Type: Electro hydraulic, cylinder luffing jib rest
 Performance: 15tonnes/ 17.4m outreach
 Other cranes
 Number: 2
 Make: Oriental
 Type: Electro hydraulic, cylinder luffing jib rest
 Tasks: Provisions
 Performance: 6.3tonnes/ 4m outreach,
 2tonnes/ 4m outreach
 Mooring equipment
 Number: 9
 Make: Rolls-Royce
 Type: Hydraulic/ high pressure
 Special lifesaving equipment
 Number of each and capacity: 2 x 29 persons
 Make: Hyundai lifeboats Co., Ltd
 Type: Totally enclosed lifeboat
 Cargo tanks
 Number: 6
 Grades of cargo carried: Crude oil
 Coated tanks, make and type: Nippon/Epoxy
 Cargo pumps
 Number: 3
 Type: Centrifugal steam turbine
 Make: Shinko pump Japan
 Stainless steel: Impeller shaft
 Capacity: 4000m³/h x 135mTH
 Cargo control system
 Make: ACE valve Korea
 Type: Console & VDU
 Ballast control system
 Make: ACE valve Korea
 Type: Console & VDU
 Complement
 Officers: 11
 Crew: 18
 Bridge control system
 Make: Nabtesco
 Type: M-8000III
 Fire detection system
 Make: Autronica Dire and Securitey
 Type: Autoprime
 Fire extinguishing systems
 Cargo holds: NK/ Deck foam
 Engine room: NK/ CO₂
 Seaplus/ Low pressure system
 Public spaces: Samjoo
 Radars
 Number: 2
 Make: JRC
 Models: JMA-9132-SA/ 9122-9XA
 Waste disposal plant
 Incinerator: Teamtec GS500CS
 Waste compactor: Samjoo/ TT 160
 Sewage plant: Jonghap/ JMC-18N073
 Contract date: 14 July 2009
 Launch/float-out date: 1 February 2011/ 11 February 2011
 Delivery date: 12 May 2011

