



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/2018**

PETROLERO SUEZMAX 148.000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 9

FRANCOBORDO Y ARQUEO



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.016-2017

PROYECTO NÚMERO 17-12

TIPO DE BUQUE: Petrolero Suezmax 148000 TPM

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, MARPOL, SOLAS, CONVENIO DE LINEAS DE CARGA TIER 3

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 148000 TPM. Transporte de petróleo CRUDOS Y DERIVADOS.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15,8 nudos con 85%MCR+ 15% margen de mar

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas de carga y descarga en los tanques de carga. Calefacción en tanques de carga.

PROPULSIÓN: Motor diésel directamente acoplado.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 personas

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

Ferrol, 10 Setiembre 2016

ALUMNO/A: **D^a PABLO MARTÍNEZ MARTÍNEZ**

Fernando Junco Ocampo

Contenido

1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO.....	5
2.1 Cálculos previos.....	5
2.2 Correcciones.....	7
2.2.1 Corrección por Coeficiente de Bloque:.....	7
2.2.2 Corrección por Puntal.....	8
2.2.3 Corrección por Arrufo.....	8
2.2.4 Resumen de correcciones:.....	9
2.2.5 Francobordo de Verano.....	10
2.2.6 Calado de verano.....	10
2.2.7 Altura mínima de Proa.....	10
2.3 FRANCOBORDOS MÍNIMOS:.....	12
2.3.1 Francobordo de Verano.....	12
2.3.2 Francobordo Tropical.....	12
2.3.3 Francobordo de Invierno.....	12
2.3.4 Francobordo del Atlántico Norte.....	13
2.3.5 Francobordo de Agua Dulce:.....	13
2.3.6 FRANCOBORDOS CALCULADOS:.....	14
3 ARQUEO.....	15
3.1 Arqueo Bruto.....	15
3.2 Resultados finales:.....	18

1 INTRODUCCIÓN.

En este cuaderno se realizará el cálculo del francobordo mínimo reglamentario, que proporciona una medida de seguridad limitando el calado máximo del buque, así como la altura mínima en proa del buque.

También se calcula el arqueo, que es un indicador del tamaño del buque y se usa como base para determinar otras características del buque y para aplicar tarifas en puertos, canales, etc.

El cálculo del francobordo se realizará por medio del “Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988”.

De igual manera, el cálculo del arqueo se realizará por medio del “Convenio Internacional sobre el Arqueo de Buques de 1969”.

Las medidas del buque son:

Ltotal (m)	281,1
Lpp (m)	273,5
B (m)	45,3
D (m)	24
T (m)	17,7
Cb	0,866
Cm	0,992
Cp	0,873
Fn	0,157
Pot (Kw)	19350
Δ (t)	195606
Peso en Rosca (t)	28876
TPM	148.000

2 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO.

Según el Convenio Internacional de Líneas de Carga el francobordo es la distancia vertical medida en la sección media del buque entre la línea de cubierta de francobordo y la línea de carga correspondiente. La cubierta de francobordo es la cubierta más alta de cierre y bajo la cual las aberturas están dotadas de cierres estancos.

2.1 Cálculos previos.

- Eslora.

REGLA 3.1.: Se toma como Eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, o la eslora medida desde la cara de proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón en esa flotación, si esta fuera mayor.

Como se acaba de señalar, se define para un calado igual al 85% del puntal a la cubierta principal, el cual es igual a:

$$T = 85\% D = 0,85 * 24 = 20,4 \text{ m}$$

- 96% de la Eslora total al 85% D:

$$L_{85\%D} = 277,54 \cdot 0,96 = 266,5 \text{ m}$$

- Eslora Roda-Mecha:

$$L_{Roda-Mecha} = 272,4 \text{ m}$$

Por lo que la eslora sería:

$$L = 272,4 \text{ m}$$

- Manga.

Es la manga máxima del buque:

$$B = 45,3 \text{ m}$$

- Puntal.

Puntal de trazado correspondiente a la cubierta principal: $D=24$ m.

REGLA 3.6.: El puntal de francobordo (D) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la plancha de trancañil de la cubierta de francobordo en el costado.

El espesor (calculado en cuaderno 8) es: $t = 16$ mm.

$$D = 24 + 0,016 = 24,016 \text{ m}$$

- Coeficiente de bloque.

REGLA 3.7. a) : el coeficiente de bloque viene dado por la fórmula:

$$Cb = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot d_1}$$

Siendo:

- $d_1 = 85\%$ del puntal mínimo de trazado.

$$d_1 = 0,85 \cdot 24 = 20,4 \text{ m}$$

- El valor del Δ lo saco de las hidrostáticas al 85% D sacado de Maxsurf:

Draft Amidships m	20,400
Displacement t	228024
Heel deg	0,0
Draft at FP m	20,400
Draft at AP m	20,400
Draft at LCF m	20,400

$$Cb = \frac{228024}{272,4 \cdot 45,3 \cdot 20,4} = 0,906$$

- Cubierta de Francobordo.

REGLA 3.9.: “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 existentes”.

En mi caso, la cubierta de francobordo será la cubierta principal situada a 24 m sobre la línea base.

- Tipo de buque.

Regla 27: “Para el cálculo del francobordo se dividirá en dos tipos A y B.

Buque Tipo A será el que:

- a) Haya sido proyectado para transportar solamente cargas liquidas a granel.*
- b) Tenga una gran integridad en la cubierta expuesta y sólo pequeñas aberturas de acceso a compartimentos de carga, cerrados por tapas de acero u otro material equivalente, estancas y dotadas de frisas*
- c) Tenga baja permeabilidad de los espacios de carga llenos.”*

Entonces el buque a proyectar según el reglamento es de Tipo A.

- Tablas de Francobordo.

REGLA 28: El francobordo tabular es obtenido de la Tabla 28.1. Interpolando en la tabla con el valor de mi eslora (272,4 m) obtengo mi francobordo:

Eslora (m)	Francobordo (mm)
271	3133
272	3138
273	3143
274	3148

Eslora (m)	Francobordo (mm)
272,4	3140

2.2 Correcciones.

2.2.1 Corrección por Coeficiente de Bloque:

REGLA 30: “Cuando el coeficiente de bloque sea mayor a 0.68, el francobordo tabular especificado en la Regla 28, se multiplicará por el factor”:

$$\frac{Cb + 0,68}{1,36} = \frac{0,906 + 0,68}{1,36} = 1,1662$$

2.2.2 Corrección por Puntal.

REGLA 31: Cuando el puntal D excede de L/15 (como es el caso), el francobordo deberá aumentarse en:

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

Siendo:

- R = L/0,48 para L < 120 m.
- R = 250 para L > 120 m

Se aplica una corrección de:

$$\left(24,016 - \frac{272,4}{15}\right) \cdot 250 = 1464 \text{ mm}$$

2.2.3 Corrección por Arrufo.

REGLA 38: “9) Cuando 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 8, 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 en la cubierta.”

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

		Curva Real	Curva Normal	FS	CurvaReal*FS	CurvaNormal*FS
	Ppp	0	2520	1	0	2520
POPA	1/6 a Pr de Ppp	0	1119	3	0	3357
	1/3 a Pr de Ppp	0	282	3	0	847
Centro del buque		0	0	1	0	0
	1/3 a Pp de Ppr	0	564	3	0	1693
PROA	1/6 a Pp de Ppr	0	2238	3	0	6713
	Ppr	0	5040	1	0	5040
						20170

14) La corrección por arrufo deberá ser el defecto o exceso de arrufo multiplicado por el siguiente factor:

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

“Siendo S, la longitud total de las superestructuras cerradas.”

Si siguiendo esta regla el buque proyecto no presenta arrufo, pero si penaliza por haber una diferencia con respecto a la curva de arrufo normal, como se han calculado en la Tabla 9.1.2.3.1, hemos obtenido un arrufo real de 0, ya que no tiene arrufo.

En nuestro caso S = 0, ya que no tenemos superestructura según la REGLA 3.10.

La corrección por arrufo será:

$$\text{Arrufo} = \frac{\text{Diferencia sumas de productos}}{16} \cdot \left(0,75 - \frac{S}{2 \cdot L}\right)$$

$$\text{Arrufo} = \frac{20170 - 0}{16} \cdot \left(0,75 - \frac{0}{2 \cdot L}\right) = 945 \text{ mm}$$

2.2.4 Resumen de correcciones:

FRANCOBORDO TABULAR (mm)	3140
Corrección por Cb (mm)	FB _{tabular} * 1,662 = 5219
Corrección por Puntal (mm)	1464
Corrección por Arrufo (mm)	945

2.2.5 Francobordo de Verano.

$$FB_{\text{verano}} = \text{Corrección}_{cb} + \text{Corrección}_{\text{puntal}} + \text{Corección}_{\text{arrufo}} = 5219 + 1464 + 945$$

$$FB_{\text{verano}} = 7628 \text{ mm}$$

2.2.6 Calado de verano.

$$T_{\text{verano}} = D_{Fb} - FB_{\text{verano}} = 16,4 \text{ m}$$

2.2.7 Altura mínima de Proa.

REGLA 39: "LA ALTURA DE PROA (Fb), definida como la distancia 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":

$$FB = \left(6075 \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot Cb - 1,603 \cdot Cwf - 0,0129 \left(\frac{L}{d_1} \right) \right)$$

Siendo:

- L es la eslora definida en la Regla 3 (antes calculada).
- B es la manga de trazado.
- d_1 es el calado al 85% del puntal en metros.
- Cb es el coeficientes definido por la Regla 3 (calculado antes).
- Cwf es el coeficiente de la flotación a proa de $L/2$:

$$Cwf = \frac{Awf}{\left(\frac{L}{2} \right) \cdot B}$$

Awf es el áres de la flotación a proa de $L/2$ para el calado d_1 en m^2 .

Draft at FP m	20,400
Draft at AP m	20,400
Draft at LCF m	20,400
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	277,957
Beam max extents on WL m	45,300
Wetted Area m ²	21314,3
Waterpl. Area m ²	11820,7

$$Cwf = \frac{\left(\frac{11820,7}{2}\right)}{\left(\frac{277,4}{2}\right) \cdot 45,3} = 0,958$$

$$FB = \left(6075 \left(\frac{277,4}{100}\right) - 1875 \left(\frac{277,4}{100}\right)^2 + 200 \left(\frac{277,4}{100}\right)^3\right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,906 - 1,603 \cdot 0,958 - 0,0129 \left(\frac{277,4}{20,4}\right)\right)$$

$$FB = 6170 \text{ mm}$$

Con la altura mínima de Proa que acabo de calcular obtengo el calado máximo permitido en este convenio en la Ppr, con el objetivo de cumplir con la altura mínima de proa que es de:

$$T_{max} = 24,016 - 6,170 = 17,846 \text{ m}$$

Este calado máximo es superior al calado en el centro del buque y según el criterio es el que debemos proyectar en la Ppr, para ver si cumpla la altura mínima en proa.

- Altura mínima exigida por la norma: 6170 mm.
- Altura en proa proyectando el T de verano en $L_{pp}/2 = 24016 - 16400 = 7616 \text{ mm}$

Por tanto cumpla con la altura mínima en proa del buque.

2.3 FRANCOBORDOS MÍNIMOS:

Para este apartado se aplica la REGLA 40 del convenio.

2.3.1 Francobordo de Verano.

Calculado antes:

$$FB_{\text{verano}} = 7628 \text{ mm}$$

$$T_{\text{verano}} = 16,4 \text{ m}$$

2.3.2 Francobordo Tropical.

REGLA 40 : “El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido 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.”

$$FB_{\text{tropical}} = FB_{\text{verano}} - \left(\frac{T_{\text{verano}}}{48} \right) = 7628 - \left(\frac{16400}{48} \right)$$

$$FB_{\text{tropical}} = 7287 \text{ mm}$$

$$T_{\text{tropical}} = 24,016 - 7,628 = 16,729 \text{ m}$$

2.3.3 Francobordo de Invierno.

REGLA 40 : “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”

$$FB_{\text{invierno}} = FB_{\text{verano}} + \left(\frac{T_{\text{verano}}}{48} \right) = 7970 \text{ mm}$$

$$T_{\text{invierno}} = 24,016 - 7,970 = 16,05 \text{ m}$$

2.3.4 Francobordo del Atlántico Norte.

REGLA 40 : “El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que navegan por cualquier parte del Atlántico Norte, durante el período estacional de invierno, será el francobordo de invierno más 50mm.
 Para el resto de buques el francobordo de invierno en el Atlántico Norte será el francobordo de invierno.”

$$FB_{AN} = FB_{invierno} = 7970 \text{ mm}$$

$$T_{AN} = T_{invierno} = 16,05 \text{ m}$$

2.3.5 Francobordo de Agua Dulce:

REGLA 40: “El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada:”

$$FB_{\text{agua dulce}} = FB_{\text{verano}} - \left(\frac{\Delta}{40 \cdot T_{pC}} \right)$$

Donde:

- Δ en la flotación al calado de verano = 180219 t

Displacement t	180219
Heel deg	0,0
Draft at FP m	16,400
Draft at AP m	16,400
Draft at LCF m	16,400

- T_{pC} son las toneladas por centímetro de inmersión = 117,763 t/cm

Immersion (TPc) tonne/cm	117,763
MTc tonne.m	2296,30

Estos datos se obtienen con el programa Maxsurf.
 El FB queda:

$$FB_{agua\ dulce} = 7628 - \left(\frac{180219}{40 \cdot 117,763} \right) = 7590 \text{ mm}$$

2.3.6 FRANCOBORDOS CALCULADOS:

FB Verano	7628
FB Tropical	7287
FB Invierno	7970
FB Atl. Norte	7970
FB Agua dulce	7590

3 ARQUEO

En este apartado se calculará el arqueo neto y el arqueo bruto del buque, y para ello se sigue el “Convenio Internacional de Arqueo Bruto de 1969”.

Para el cálculo es necesario tener el concepto de “espacio cerrado”, que lo da la REGLA 3: “*Son todos los limitados por el casco del buque por mamparos fijos o móviles y por cubiertas y techos que no sean toldos permanentes o móviles.*”

Espacios cerrados en mi buque son:

- Por debajo de la cubierta principal: el casco del buque.
- Por encima de la cubierta principal:
 - o Habitación.
 - o Puente de gobierno.
 - o Guardacalor.
 - o Chimenea.

Una vez hecha estas aclaraciones, paso a calcular el arqueo bruto y el arqueo neto.

3.1 Arqueo Bruto.

REGLA 3: “*El arqueo bruto de un buque (GT), se calcula aplicando la siguiente fórmula*”:

$$GT = K_1 \cdot V$$

Donde:

- $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}V$
- V: volumen de todos los espacios cerrados del buque expresados en m³.

$$V = V_{\text{bajo la cubierta principal}} + V_{\text{sobre la cubierta principal}}$$

El volumen bajo la cubierta superior lo obtengo de las hidrostáticas que me da Maxsurf, poniendo como calado el puntal del buque (24 metros).

Volume (displaced)	255227,203	m ³
Draft Amidships	24,000	m

El volumen del caso es de 255227 m³.

El volumen de las superestructuras lo obtengo del Cuaderno 7:

$$V_{\text{habilitación y puente}} = b * h * l = 28 \cdot 17,3 \cdot 19,5 = 9446 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{guardacalor}} = 2108 \text{ m}^3$$

Por tanto el volumen de los espacios cerrados será de:

$$V = 255227 + 9446 + 2108 = 266781 \text{ m}^3$$

K₁ queda :

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 266781 = 0,308$$

Ya tengo lo que necesito para calcular el arqueo bruto:

$$GT = K_1 \cdot V = 0,308 \cdot 266781$$

$$\mathbf{GT = 82308 toneladas}$$

1.1. Arqueo Neto

El arqueo neto expresa la capacidad utilizable del buque, y se calcula mediante la expresión:

$$NT = K_2 \cdot V_{\text{carga}} \cdot \left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

Donde:

- $K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,308$ (calculado para el arqueo bruto)
- $K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT+10000}{10000} = 11,5$
- N₁ es el número de pasajeros que no tengan más de 8 literas = 0
- N₂ es el número de los demás pasajeros = 0

Mi buque lleva tripulación por eso N₁ y N₂ toman valor 0.

- $\left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2$ no será mayor que 1 → 0,967 ; cumple.

➤ V_{carga} , dato que me proporciona el Cuaderno 4:

Tanque	Volumen (m3)
Carga 1BR	13513,888
Carga 1ER	13513,888
Carga 2BR	13515,141
Carga 2ER	13515,141
Carga 3BR	13515,141
Carga 3ER	13515,141
Carga 4BR	13515,141
Carga 4ER	13515,141
Carga 5BR	13515,141
Carga 5ER	13515,141
Carga 6BR	13502,494
Carga 6ER	13502,494
SLOP BR	1568,068
SLOP ER	1568,068
TOTAL	165290

➤ $K_2 \cdot V_{carga} \cdot \left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2$; este valor de la expresión no debe ser inferior a $0,25 \cdot GT$:

○ $0,25 \cdot GT = 20577 \text{ t}$

○ $K_2 \cdot V_{carga} \cdot \left(\frac{4 \cdot T}{3 \cdot D}\right)^2 = 49313 \text{ t}$

○ $49313 > 20577$; CUMPLE

El Arqueo Neto queda:

$$NT = 0,308 \cdot 165290 \cdot 0,967 + 11,5 \cdot \left(0 + \frac{0}{10}\right)$$

$$NT = 49313 \text{ toneladas}$$

3.2 Resultados finales:

Arqueo Bruto	82308
Arqueo Neto	49313