



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/18**

Petrolero Neo-Pánamax de 200000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 9:

FRANCOBORDO Y ARQUEO

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO DE FIN DE GRADO

CURSO 2017-2018

PROYECTO NÚMERO: 18-07

TIPO DE BUQUE: PETROLERO DE CRUDOS

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:
BUREAU VERITAS, SOLAS, MARPOL NEO PANAMAX

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:

200.000 TPM. Crudos del Petróleo y sus derivados con una densidad máxima de 0,99 g/ml

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos en condiciones de servicio. 85% MCR + 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: En cámara de bombas

PROPULSIÓN: Propulsión Diesel eléctrica 2 Líneas de ejes. LNG para servicios en puerto

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 personas en camarotes individuales

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

Ferrol, 19 Setiembre 2017

ALUMNO/A: **D. Julio Barreiro Montes**

Introducción

En el siguiente cuaderno se realizarán los siguientes cálculos según el convenio internacional de líneas de carga:

- Francobordo
- Arqueo
- Altura mínima de proa

Las características principales del buque al calado de proyecto son las siguientes:

Desplazamiento	227611,8 t
Lpp	276 m
Manga	49 m
Puntal	25,75 m
Calado	19,19 m
Cb	0,855
Cp	0,858
Cm	0,996
Cwp	0,922
Superficie mojada	21664,527 m ²
Superficie flotación	12468,912 m ²
Velocidad	16 knots
Peso en rosca	27611,8 t

Índice

1.- Cálculo del Francobordo:	4
1.1- Tipo de buque y francobordo tabular	5
1.2- Corrección por coeficiente de bloque	5
1.3- Corrección por puntal.....	5
1.4- Corrección por arrufo	5
1.5- Francobordo de verano	7
1.6- Otros francobordos mínimos	7
2.- Cálculo altura mínima de proa	8
3.- Cálculo del arqueo	8
3.1- Arqueo bruto	9
3.2- Arqueo Neto	10
4.- Bibliografía	12

1.- Cálculo del Francobordo:

El cálculo de francobordo se sigue empleando el **Convenio internacional de líneas de carga**. Para comenzar es necesario definir varios conceptos que pueden tener diferentes valores a los mostrados en hidrostáticas, según lo indicado en la Regla 3:

Eslora: Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, medida desde el canto alto de dicha quilla, o la eslora de la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si esta fuera mayor.

En nuestro caso esos valores son:

- $L(85\%D) = 0,96 * 283,523 = 272,18$ m
- $L_{pp} = 276$ m

Podemos comprobar que el valor más grande es le de eslora entre perpendiculares:
L=276 m

Coefficiente de bloque: El coeficiente de bloque viene dado por la fórmula:

$$Cb = \frac{\nabla}{L * B * d_1}$$

$d_1 = 85\%$ del puntal de trazado = 21,888 metros.

$\nabla =$ volumen desplazado a 21,88 metros de calado = 255753 m³

El coeficiente de bloque queda pues, como **0,864**

La **cubierta de francobordo** es la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, que esté dotada de medios permanentes de cierre en todas sus aberturas.

En nuestro caso la cubierta principal cumple todos los requisitos.

El reglamento define las **superestructuras** como construcciones con techo, situadas sobre la cubierta de francobordo, que no debe estar separada del forro del costado más que un 4% de la manga.

En nuestro buque la separación es mayor que los 1,96 metros permitidos, de modo que no cuenta con superestructuras en lo que al reglamento se refiere.

1.1- Tipo de buque y francobordo tabular:

Para el cálculo de francobordo se distinguen 2 tipos de buques, A y B.

Nuestro buque es del Tipo A, ya que cumple las siguientes condiciones:

- Se emplea para transportar solamente cargas a granel.
- Tiene una gran integridad en la cubierta expuesta y sólo pequeñas aberturas estancas a los compartimentos de carga.
- La permeabilidad de los espacios de cara llenos es muy baja.

Por tanto el francobordo tabular que se obtiene con la eslora del buque (276 m) es de **3158 mm**

A este francobordo tabular se le pueden aplicar diversas correcciones, y describiremos a continuación las correspondientes a nuestro buque

1.2- Corrección por coeficiente de bloque

Cuando el coeficiente de bloque es mayor que 68, el francobordo tabular se multiplicará por el siguiente factor:

$$\frac{Cb + 0,68}{1,36} = \frac{0,856 + 0,68}{1,36} = 1,1294$$

1.3- Corrección por puntal

Cuando el puntal D excede $L/15$, el francobordo debe aumentarse en:

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

Siendo $R = 250$ al ser $L > 120$ m.

Al ser $D = 25,75 > L/15 = 276/15 = 18,4$ m obtenemos:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) * R = (25,75 - 18,4) * 250 = 1840 \text{ mm}$$

1.4- Corrección por arrufo

Cuando la curva de arrufo de un buque es diferente de la estándar, las cuatro ordenadas en cada mitad de proa y popa se multiplican por los factores correspondientes. La octava parte de la diferencia entre la suma de los productos estándar y los obtenidos del buque indica el defecto o exceso en las mitades de proa y popa.

La media aritmética de estos valores expresa la diferencia de arrufo en la cubierta.

La siguiente tabla muestra los valores estándar dependiendo de la eslora del buque.

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

Con una eslora de 276 metros, los valores en milímetros serán:

Ordinate	2550	1132	286	0	0	571	2264	5100
----------	------	------	-----	---	---	-----	------	------

Comparando los valores estándar con los reales, obtenemos la siguiente tabla:

Situación		Curva real	Curva estándar	FS	Producto R	Producto N
Mitad de Popa	Ppp	0	2550	1	0	2550
	1/6 a Pr de Ppp	0	1132	3	0	3396
	1/3 a Pr de Ppp	0	286	3	0	858
Centro de buque		0	0	1	0	0
Mitad de proa	1/3 a Pp de Ppr	0	571	3	0	1713
	1/6 a Pp de Ppr	0	2264	3	0	6792
	Ppr	1500	5100	1	1500	5100
				Sumatorio	1500	20409

El único arrufo diferente de 0 es el proporcionado por la zona a proa de las bodegas de carga.

La corrección será el defecto o exceso de arrufo multiplicada por el siguiente factor:

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

Siendo S la longitud total de las superestructuras cerradas.

En nuestro caso el valor es 0.

El buque del proyecto se penaliza por tener diferencia con respecto al arrufo normal.

$$C_{arrufo} = \frac{\text{Diferencia entre sumatorios}}{16} * 0,75 = 886$$

1.5- Francobordo de verano

Contando con todas las correcciones, el francobordo de verano será el siguiente:

$$Fb = 3158 * 1,1294 + 1840 + 886 = 6293 \text{ mm}$$

Por tanto el caldo de verano será el siguiente:

$$C_{Verano} = D - Fb = 25750 - 6293 = 19467 \text{ mm}$$

En las condiciones de carga, examinadas en el Cuaderno 5, el calado máximo que se alcanza en el centro del buque es 19158 mm. Por tanto nuestro francobordo de verano real viene determinado por la corrección por estabilidad, quedando **6592 mm**

1.6- Otros francobordos mínimos

El francobordo tropical y el de invierno se obtienen con las siguientes fórmulas:

$$F_{btropical} = F_{Verano} - \frac{F_{Verano}}{48}$$

$$F_{binvierno} = F_{Verano} + \frac{F_{Verano}}{48}$$

El francobordo para el Atlántico norte es el mismo que el de invierno en buques de eslora mayor a 100 metros.

El francobordo en agua dulce se halla restando al francobordo de verano un factor dado por la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Desplazamiento en la flotación de carga de verano}}{40 * \text{Toneladas por centímetro de inmersión}} = \frac{230296}{40 * 127,939} = 45 \text{ mm}$$

Por tanto nuestros francobordos finales resultan:

Fb. Verano	6592 mm
Calado Verano	19158 mm
Fb. Tropical	6455 mm
Fb. Invierno	6729 mm
Fb. Atlántico Norte	6729 mm
Fb Agua dulce	6547 mm

2.- Cálculo altura mínima de proa

Según la versión actual del convenio internacional de líneas de carga, la fórmula empleada para hallar la altura mínima de proa en mm es la siguiente:

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

El Cwf es el coeficiente en la flotación a proa. En nuestro buque:

$$\frac{Awf}{\left(\frac{L}{2} \right) * B} = \frac{6272}{138 * 49} = 0,927$$

El resultado de la operación es de **6367 mm** de altura de proa.

Con el arrufo de la zona de proa, el puntal en esa sección del buque es de 27,25 metros, lo cual nos deja **20,883 metros de calado máximo en la proa**.

Este calado es superior al calado de diseño, al de francobordo y al existente en cualquiera de nuestras condiciones de carga.

Por tanto nuestro buque cumple con la altura mínima de proa.

3.- Cálculo del arqueo

Emplearemos el “**Convenio internacional de Arqueo Bruto de 1969**” para hallar el arqueo de nuestro buque.

El **arqueo** permite cuantificar y expresar la capacidad de los espacios cerrados del buque.

Se denomina espacio cerrado a todos aquellos limitados por el casco del buque, mamparos fijos o móviles, y cubiertas o techos permanentes o móviles.

En nuestro caso, el casco del buque cualifica como volumen bajo cubierta, mientras que la habitación, el puente de gobierno, el guardacalor y la chimenea cualifican como volúmenes sobre cubierta.

3.1- Arqueo bruto

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

$$GT = K_1 \cdot V$$

En la cual:

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

V es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque expresados en metros cúbicos.

A su vez, se divide en V bajo la cubierta superior y V encima de la cubierta superior.

A continuación procederemos a calcular ambos valores:

El volumen bajo la cubierta puede calcularse hallando las características hidrostáticas del buque con el calado a la altura del puntal. (T = D = 25,75 m)

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	312525	t
2	Volume (displaced)	304902,343	m ³
3	Draft Amidships	25,750	m
4	Immersed depth	25,751	m
5	WL Length	11,362	m
6	Beam max extents on WL	29,992	m

Las cifras muestran un volumen de **304902,343 metros cúbicos**

El **volumen sobre la cubierta** es la suma de los siguientes elementos:

Volumen de habilitación = Superficie de las cubiertas * N° de cubiertas * Separación entre cubiertas

$$V_{Habilitación} = 462,58 * 5 * 3,4 = 7863,97 \text{ m}^3$$

Volumen del guardacalor y la chimenea = 3315,9 metros cúbicos

Eso nos da un total de **11179,88** metros cúbicos sobre la cubierta. Así pues:

$$V = 304902,343 + 11179,88 = \mathbf{316082,22 \text{ metros cúbicos.}}$$

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10}(316082,22) = 0,309996$$

$$\mathbf{GT} = 0,309996 * 316082,22 = 97984,22429 \cong \mathbf{97984,22}$$

3.2- Arqueo Neto

Si el arqueo bruto expresa el tamaño total del buque, el arqueo neto expresa la capacidad utilizable del mismo, y se halla con la siguiente fórmula:

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

Siendo:

Vcar = Volumen de Carga = Dato del Cuaderno 4.

Los volúmenes de los tanques de carga se muestran en la siguiente tabla:

Nombre	Vol (m ³)	D (T/m ³)	Aft (m)	Fore (m)	F.Port (m)	F.Stbd (m)	F.Top (m)	F.Bott (m)
Slops E	1988,814	0,99	46,4	51,4	0	25	25,75	2,5
Slops B	1988,814	0,99	46,4	51,4	-25	0	25,75	2,5
Load TK 1 E	13285,114	0,99	51,4	81,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 2 E	17089,032	0,99	81,4	116,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 3 E	17089,032	0,99	116,4	151,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 4 E	17089,032	0,99	151,4	186,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 5 E	17089,032	0,99	186,4	221,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 6 E	15234,149	0,99	221,4	256,4	0	22	25,75	2,5
Load TK 1 B	13285,114	0,99	51,4	81,4	-22	0	25,75	2,5
Load TK 2 B	17089,032	0,99	81,4	116,4	-22	0	25,75	2,5
Load TK 3 B	17089,032	0,99	116,4	151,4	-22	0	25,75	2,5
Load TK 4 B	17089,032	0,99	151,4	186,4	-22	0	25,75	2,5
Load TK 5 B	17089,032	0,99	186,4	221,4	-22	0	25,75	2,5
Load TK 6 B	15234,149	0,99	221,4	256,4	-22	0	25,75	2,5

En total de la carga resultan **197052,918** metros cúbicos

$$K_2 = 0,2 + 0,02 * \log(197052,918) = 0,30589166$$

$$\left(\frac{4 * T}{3 * D}\right)^2 = \left(\frac{4 * 19,19}{3 * 25,75}\right)^2 = 0,98735$$

$$\left(\frac{4 * T}{3 * D}\right)^2 \text{ Nunca debe ser mayor que } 1,$$

$$K_2 * V_{car} * \left(\frac{4 * T}{3 * D}\right)^2 \text{ no debe ser menor a } 0,25 * GT$$

$$K_2 * V_{car} * \left(\frac{4 * T}{3 * D}\right)^2 = 59514,592 > 0,25 * GT = 24496,05$$

El siguiente término es trivial, puesto que depende del número de pasajeros (N1 para los que se sitúan en camarotes de más de 8 literas, y N2 para el resto) Dado que nuestro buque **no transporta pasajeros**, el segundo término es 0.

El arqueo neto nos queda pues, como **59514,592**

La única condición que debe cumplir es que $NT > 0,3 * GT$

$$0,3 * GT = 29395,267 < 59514,592$$

Por lo tanto se comprueba que se cumple la condición.

En resumen:

Arqueo bruto (GT)	97984
Arqueo neto (NT)	59515

4.- Bibliografía

1. JUNCO OCAMPO, Fernando; DÍAZ CASAS, Vicente. Apuntes de la asignatura de “*Proyectos de buques y artefactos marinos 2*”. Universidad de A Coruña, Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Curso 2017-2018.
2. *Convenio internacional sobre Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988*. Dirección General de la Marina Mercante de Fomento.
3. *Convenio internacional sobre Arqueo de Buques 1969*. Organización Marítima Internacional.