



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX Y 1000 ML

CUADERNO 9

FRANCOBORDO Y ARQUEO

Grado Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Marcos Covelo Fernández

TUTOR

Fernando Lago Rodríguez

FECHA

2017



Escola Politécnica Superior
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.016-2017

PROYECTO NÚMERO 17-07

TIPO DE BUQUE: RO-PAX

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV GL, Marpol, Solas. SRTP.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1500 pasajeros, 1000 metros lineales que permitirán transportar 30 tráileres y 115 turismos simultáneamente.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 26 nudos al 90% MCR, 15% de margen de mar, autonomía de 3000 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: los propios de este tipo de buque.

PROPULSIÓN: Dual-fuel (diésel/GNL).

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 1500 pasajeros y 55 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: los propios de este tipo de buque.

Ferrol, 28 Setiembre 2016

ALUMNO: **D. Marcos Covelo Fernández**



ÍNDICE:

1. Introducción.....pág-4

2. Francobordo.....pág-6

3. Arqueo.....pág-10



1. Introducción:

En este proyecto se diseña un buque tipo Ro-Pax. Dicho buque será diseñado con objeto de transportar 1500 pasajeros y 1000 metros lineales de carga rodada, que le permitan albergar 115 turismos y 30 tráileres simultáneamente. Estará destinado para trayectos relativamente largos, por lo que contará con acomodación adecuada para viajes nocturnos (todos los pasajeros dispondrán de camarotes o cómodas butacas) y de diversos servicios a bordo (restaurante, cafeterías, tiendas, zonas de ocio). Será dotado con propulsión dual-fuel en línea con las actuales exigencias medioambientales. El diseño se realizará de acuerdo a la Sociedad de clasificación DNV-GL y será conforme con Marpol y Solas (incluyendo el requerimiento de retorno seguro a puerto SRTP). La velocidad de servicio que deberá alcanzar será de 26 Kn con una autonomía de 3000 millas.

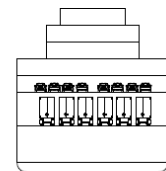
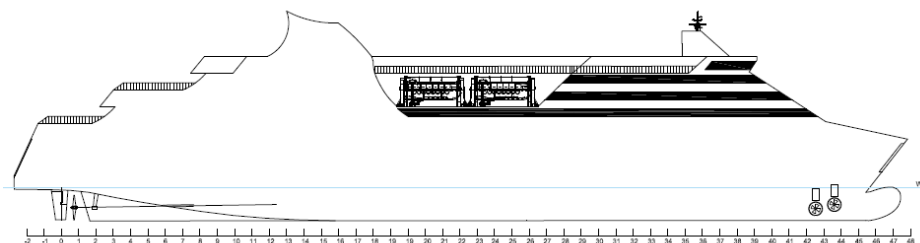
Neste proxecto diseñase un buque tipo Ro-Pax. Este buque estará deseñado para transportar 1500 pasaxeiros e 1000 metros lineais de carga rodada, o que lle permite acomodar 115 vehículos e 30 tráileres simultaneamente. Estará destinado a viaxes relativamente longas, polo que terá aloxamento adecuado para viaxes nocturnas (todos os pasaxeiros terán cabinas ou cómodos asentos) e varios servizos a bordo (restaurante, cafeterías, tendas, áreas de lecer). Estará equipado con propulsión de dobre combustible en liña cos requisitos ambientais actuais. O deseño realizarase segundo a sociedade de clasificación DNV-GL e estará de acordo con Marpol e Solas (incluído o requisito de retorno seguro a porto SRTP). A velocidade de servizo a alcanzar será de 26 Kn cunha autonomía de 3000 millas.

In this project a ship type Ro-Pax is designed. This vessel will be designed to carry 1500 passengers and 1000 linear meters of roll cargo, allowing it to accommodate 115 cars and 30 trailers simultaneously. It will be destined for long journeys, so it will have adequate accommodation for night trips (all passengers will have cabins or comfortable seats) and various services on board (restaurant, coffee shops, shops, leisure areas). It will be equipped with dual-fuel propulsion in line with current environmental requirements. The design will be made according to the DNV-GL classification society and will be in accordance with Marpol and Solas (including the safe return to port SRTP). The service speed to be achieved will be 26 knots with an autonomy of 3000 miles.



Características buque Ferry

L_{pp}	130 m
L_{total}	145,6 m
B	24,4 m
D	7,84 m
$T_{diseño}$	5,26 m
C_b	0,58
C_m	0,960
C_p	0,60
Despl	9923,2 t
Pasajeros	1500
Tripulación	55
Velocidad	26 nudos
BKw	31768,6 Kw





2. Francobordo:

Para el cálculo del francobordo se ha tomado como referencia el Convenio internacional sobre líneas de carga de 1966. Se definen a continuación las características del buque proyecto con respecto a dicho reglamento y posteriormente los cálculos pertinentes.

2.1. Cubierta de francobordo:

Se consideró como cubierta de francobordo la cubierta 3 (tráileres), situada a 7,84 m de la línea base.

2.2. Eslora de francobordo:

La eslora considerada en el cálculo del francobordo será la mayor de:

- 96% de la eslora total al 85% del puntal: 133,34 m.
- La Lpp al 85% del puntal: 131,2 m.

Por tanto, la eslora considerada será: 133,34 metros

2.3. Puntal de francobordo:

El puntal de francobordo representa la distancia de la quilla hasta la cubierta de francobordo, incluyendo el espesor de esta. En el buque proyecto este valor resulta:

$$D = 7,84 + 0,016 = 7,856 \text{ m}$$

2.4. Coeficiente de bloque:

El coeficiente de bloque será el obtenido al 85% del puntal de trazado:

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

Donde:

- ∇ : volumen de desplazamiento al calado d_1 , se obtuvo de maxsurf (14069 m³).
- L: eslora de francobordo (133,34 m).



- B: manga (24,4 m).
- d_1 : 85% del puntal mínimo de trazado (6,664 m).

Con estos valores el coeficiente de bloque resultó:

$$C_b = 0,648$$

2.5. Tipo de buque:

Según el Convenio internacional de líneas de carga se trata de un buque de tipo B, ya que no transportará cargas líquidas a granel.

2.6. Francobordo tabular:

Se obtiene de las tablas existentes en el convenio, en función de la eslora de francobordo. Para $L = 133,34$ m se obtiene:

$$Fb_{\text{tabular}} = 1966 \text{ mm}$$

2.7. Correcciones:

Al francobordo tabular obtenido se le deben realizar las correcciones oportunas en función de lo que se diferencia el buque del proyecto del buque tipo del convenio.

2.7.1. Corrección por puntal:

Dado que el buque cuenta con una superestructura cerrada que cubre toda la eslora, el francobordo se reduce en:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot \frac{L}{0.48}$$

$$\text{Corrección por puntal} = - 259 \text{ mm}$$

2.7.2. Reducción por superestructuras y troncos:

La longitud efectiva de superestructuras es de $1 L = 133,34$, no se consideran troncos en el buque del proyecto. La reducción correspondiente se obtiene por interpolación lineal en función de la citada eslora, según los valores del convenio:



Reducción por superestructuras = -1070 mm.

2.7.3. Arrufo:

El buque no cuenta con arrufo en su cubierta, pero cuenta con una superestructura extendida por toda su eslora y cuya altura excede la normal según el convenio ($5,4 > 2,214$ m). Por ello, la diferencia entre la altura real y la normal (Z) se añade al arrufo como indica el convenio:

After perpendicular	Z	3100
1/6 L from A.P.	0,444·Z	1376
1/3 L from A.P.	0,111·Z	344
Amidships	0	0
Amidships	0	0
1/3 L from F.P.	0,111·Z	344
1/6 L from F.P.	0,444·Z	1376
Forward perpendicular	Z	3100

Se obtiene por tanto un exceso de arrufo. Con estos valores, realizada la función de Simpson correspondiente, y multiplicada por:

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

Se calcula la corrección por arrufo:

Corrección por arrufo = -88 mm.

2.7.4. Altura mínima de proa:

El convenio determina la altura mínima en la perpendicular de proa, entre la flotación correspondiente al francobordo de verano y la cubierta de intemperie. Se obtiene mediante una fórmula, en este caso el valor resulta:

Altura mínima de proa = 4801 mm.

Esta distancia se consigue con los valores de francobordo contemplados por lo que no es necesario modificarlos.



2.7.5. Flotabilidad de reserva:

Al tratarse de un buque tipo B se debe garantizar una flotabilidad de reserva en el extremo de proa. Para ello, en la sección a $0,15 \cdot L$ a popa de la perpendicular de proa, el área proyectada entre la flotación en carga de verano y la superestructura debe ser superior a la calculada como:

$$\left(0,15 \cdot F_{min} + 4 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10 \right) \right) \cdot \frac{L}{100}$$

El área mínima obtenida es:

$$\text{Área proyectada mínima} = 63,18 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta la altura de la superestructura del buque, este valor de área se alcanza sin problema en las diferentes condiciones del buque, con lo que la reserva de flotabilidad está garantizada.

2.8. Francobordos mínimos:

Con todo ello, los valores obtenidos finalmente para el francobordo son:

Calado de verano	7307 mm
Francobordo de verano	549 mm
Francobordo tropical	397 mm
Francobordo de invierno	702 mm
Francobordo invierno Atl. Norte	702 mm
Francobordo agua dulce	535 mm

Los valores obtenidos no limitan las cifras de calado con los que se ha venido trabajando hasta ahora. Estos valores deberán ser modificados en función de la estructura del buque ya que no se diseñará para que este navegue con tanto calado como el francobordo permitiría.

El cálculo pormenorizado se encuentra en los anexos de este documento.



3. Arqueo:

El cálculo del arqueo bruto y neto del buque proyecto se realizó conforme al Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969. Se muestra a continuación dichos cálculos:

3.1. Definiciones:

- Cubierta superior:
Se toma como tal la cubierta 4, por ser la más alta expuesta a la intemperie bajo la cual todas las aberturas en los costados tengan medios de cierre estancos.
- Puntal de trazado:
Se considera el puntal desde la quilla hasta la cubierta superior, siendo $D_t = 13,24$ m.
- Manga:
La manga máxima del buque, $B = 24,4$ m.
- Pasajeros:
Todos aquellos exceptuada la tripulación, lo que supone 1500.

3.2. Arqueo bruto:

El cálculo del arqueo bruto se realiza mediante la fórmula:

$$GT = K_1 \cdot V$$

Donde:

- V : volumen total de todos los espacios cerrados del buque, en m^3 .
- K_1 : el valor obtenido con la formula

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

Como espacios cerrados se consideran todos los espacios del buque limitados por el casco, mamparos, cubiertas y techos. Se exceptuaran los espacios



destinados a los equipos de amarre y fondeo tanto a proa como a popa por disponer de numerosas aperturas laterales de altura superior a 0,75 m.

Por tanto, el volumen de los espacios cerrados resulta:

- Volumen bajo cubierta superior: se midió mediante el software Maxsurf obteniéndose:

$$V_{bc} = 34999,08 \text{ m}^3$$

- Volumen superior: se midió sobre los planos, obteniéndose:

$$V_s = 33551 \text{ m}^3$$

Resultando el volumen total de los espacios cerrados:

$$V = 68550,45 \text{ m}^3$$

Y por tanto:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 68550,45$$

$$K_1 = 0,2967$$

Y el arqueado bruto:

$$GT = 0,2967 \cdot 68550,45$$

$$\mathbf{GT = 20340,30}$$



3.3. Arqueo neto:

El cálculo del arqueo neto se realiza mediante la fórmula:

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

Donde:

- V_c : volumen total de los espacios de carga (17199 m³).
- K_2 : el valor obtenido de la fórmula

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

$$K_2 = 0,2847$$

- K_3 : el valor obtenido de la fórmula

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

$$K_3 = 3,7925$$

- D : puntal de trazado (13,24 m).
- d : calado de trazado, (7,167 m).
- N_1 : número de pasajeros en camarotes de no más de 8 literas (805).
- N_2 : resto de pasajeros (695).

Además deberá cumplirse que:

- $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)$ no será superior a 1.
- $K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$ no será inferior a 0,25·GT.
- NT no será inferior a 0,30·GT.

Se obtiene por tanto un resultado de:

$$\mathbf{NT = 8401,64}$$



Bibliografía:

- IMO (1969). Convenio Internacional sobre arqueo de buques.
- IMO. Convenio internacional sobre líneas de carga de 1966 y protocolo de 1988.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX 1000 ML

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

ANEXO

INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966/1988

Moulded Breadth (B) 24,4 m
 Least Moulded Depth 7,84 m
 85% Least Moulded Depth 6,664 m
 Freeboard deck thickness at side 16 mm
 Freeboard Depth (D) 7,856 m

Lenght of the waterline at 6,664 m of depth 138,9 m
 Lenght betw. Perp. at 6,664 m of depth 131,2 m

Freeboard Lenght (L) 133,344 m 12575,53

Volume without appendages at 6,664 m of depth 14069 m³

Block coefficient 0,6489

hueco
 Recess in freeboard deck, side to side, of 0 m < 1m
Upper line of the exposed deck is the freeboard deck

R-27 Types of ships *Applicable*

Type of ship (A,B,Br,B60) B

R-28 Tabular Freeboard *Applicable*

<i>Table</i>	
<i>L</i>	<i>freeboard</i>
133	1959
134	1979

<i>L</i>	<i>freeboard</i>
133,344	1966

R-28 1966

R-29 Correction for ships under 100 m in lenght *Not Applicable*

Effective lenght of superstructure (E) 133,344 m
 Lenght of trunks 0 m
 Effective lenght of superstructure (E1) 133,344 m

R-29

R-30 Correction for block coefficient *Not Applicable*

R-28	1966
R-29	
<i>freeboard</i>	1966

Factor 1

R-30

R-31 Correction for depth *Applicable*

Enclosed superstructure lenght 133,344 m >0.6*L 6,664
 Height of superstructure 5,400 m 8,8896
 Standard Height 2,3 m 277,8

R 250 Standard Height correction 1
 Correction -259

R-31 -259

R-32 Correction for position of deck line *Not Applicable*

R-32

R-32.1 Correction for recess in freeboard deck (not side to side) *Not Applicable*

Volume of the recess m³
 Waterplane area at 6,664 m draft m²

R-32.1

R-33 Standard height of superstructure (in m) Applicable

<i>Raised quarterdeck</i>	<i>All Other superstructures</i>
1,8	2,3

R-34/35 Effective length of superstructure (in m) Applicable

Superstructure	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)
Forecastle	0,000	24,400	24,400	5,400	0,000
center	133,344	24,400	24,400	5,400	133,344
Poop	0,000	24,400	24,400	5,400	0,000

<i>Raised quarterdeck</i>	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)

R-36 Effective length of trunks (in m) Applicable

Trunk	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)
Centre	0,000	24,400	5,400	0,000	0,000

R-37 Deduction for superstructures and trunks Applicable

Lenght of Superstructure 133,344 m
 Lenght of Trunks 0 m
 Effective Lenght (E) 133,344 m
 Effective Lenght (E) 1 *L
 Deduction for 1L 1070 mm

E	%
1	100
1	100
1	100

R-37 -1070

R-38 Sheer Applicable

Standard Sheer Profile					
Station	Ordinate	Factor	Product		
After perpendicular	1361	1	1361		
1/6 L from A.P.	604	3	1812		
1/3 L from A.P.	152	3	456		
Amidships	0	1	0	After Sheer	3629
Amidships	0	1	0		
1/3 L from A.P.	305	3	915		
1/6 L from A.P.	1209	3	3627		
Forward perpendicular	2722	1	2722	Forward Sheer	7264

Sheer Profile					
Station	Ordinate	Sum for Le=L	Total	Factor	Product
After perpendicular	0	3100	3100	1	3100
1/6 L from A.P.	0	1376	1376	3	4128
1/3 L from A.P.	0	344	344	3	1032
Amidships	0	0	0	1	0
Amidships	0	0	0	1	0
1/3 L from F.P.	0	344	344	3	1032
1/6 L from F.P.	0	1376	1376	3	4128
				After Sheer	8260

Forward perpendicular	0	3100	3100	1	3100	Forward Sheer	8260
-----------------------	---	------	------	---	------	---------------	------

Forward and After corrections for Sheer be allowed
--

Corrected After Product Difference 4631
Corrected Forward Product Difference 996

Sheer credit for poop or forecastle

	Real	Standard	Difference	s
Forecastle	5400	2300	3100	0
Poop	5400	2300	3100	0

After Sheer variation 578
Forward Sheer variation 124
Sheer variation 351

Total length of enclosed superstructures (S1) 133,344 m
Extension in midships of superstructures (over L) 1 *L

Factor 0,25 Correction -88 mm
Freeboard correction with superstructure length correction is -88 mm

Freeboard correction -88 mm
Maximum freeboard correction for Sheer is -167 mm

R-38	-88
------	-----

R-39.1 Minimum bow height	Applicable
----------------------------------	------------

Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (A_{wf}) 1320,49 m²

L	133,344	d1	6,664	2640,985			
B	24,4	C _b	0,6489	0,778344	0,719261073	0,765933	0,811713
		C _{wf}	0,8117	Schneeklui	Schneekluth 7-65		pg 7-66

Minimum bow height (F_b) 4801 mm

Bow depth corrected for R39 13,24 m
Minimum bow height freeboard -1775 mm
Salt water freeboard 549 mm

R-39.1	0
--------	---

R-39.2 Reserve of buoyancy	Applicable
-----------------------------------	------------

F ₀	1966 mm	
f ₁	1	
f ₂	-259 mm	
f _{min}	1707 mm	100,008

Minimum projected area 63,18 m²
Actual projected area 63,33 m²
Freeboard correction 3166 mm

R-39.2	0
--------	---

R-40 Minimum freeboards	Applicable
--------------------------------	------------

Minimum freeboard without R-32 50 mm

R-28	1966 mm	Freeboard in Salt Water	549 mm
------	---------	-------------------------	--------

R-29 mm

R-30 mm

R-31 -259 mm

R-32.1 mm

R-37 -1070 mm

R-38 -88 mm

Sum 549 mm

Minimum Summer Freeboard	549 mm
Maximum Summer Draught	7307 mm

R-39.1 0 mm

R-39.2 0 mm

Summer Freeboard	549 mm
Summer Draught	7307 mm

Sum **549 mm**

R-32 0 mm

Displacement at 7,307 m **15812,62793 ton**
TPCM at 7,307 m **27,06965473 ton/cm**

<i>Tropical Freeboard</i>	<i>397 mm</i>
<i>Winter Freeboard</i>	<i>702 mm</i>
<i>Winter N. Atlantic Freeboard</i>	<i>702 mm</i>
<i>Fresh Water</i>	<i>535 mm</i>

volumen espacios cerrados

Volumen bajo cub 4	maxsurf 29401,5	resto 5597,58	total 34999,08				
volumen superior	cub 4 7806,78	cub 5 7322,562	cub 6 6899,612	cub 7 5804,028	cub 8 5718,384	total 33551,37	
				Total	68550,45		

K1 0,296720206

GT 20340,30256

volumen espacios carga rodada 17199

K2 0,284710064

K3 3,79253782

d 7,617

N1 805

N2 695

D 13,24

NT	8401,649963	(4d/3D) 0,767069	K2Vc(4d/3D) 2881,213
	0,30 GT 6102,090768		0,25 GT 5085,076