



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Máster**

**CURSO 2016/2017**

---

*BUQUE LNG DE MEMBRANA DE 145.000 m<sup>3</sup>*

---

**Máster en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA/O**

Ismael Grandal Mouriz

**TUTORAS/ES**

Vicente Díaz Casas

**FECHA**

SEPTIEMBRE DE 2017

## **CUADERNO 9**

En el presente cuaderno realizaremos el cálculo y del arqueo del buque proyecto.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2016/2017**

---

*BUQUE LNG DE MEMBRANA DE 145.000 m<sup>3</sup>*

---

**Máster en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 9**

**FRANCOBORDO Y ARQUEO**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2016-2017

**PROYECTO NÚMERO: 17-32 P**

**TIPO DE BUQUE:** Buque tanque LNG de membrana

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

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** gas natural licuado con capacidad para 145.000 m<sup>3</sup>.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 19,5 nudos a la velocidad de servicio, 85% MCR + 15% MM. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** los habituales en este tipo de buque.

**PROPULSIÓN:** Propulsión Diesel eléctrico. Dos líneas de ejes

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 35 tripulantes en camarotes individuales.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Las habituales en este tipo de buque.

Ferrol, Abril de 2017

ALUMNO: D. Ismael Grandal Mouriz

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. CÁLCULO DEL FRANCOBORDO.....	6
3. CÁLCULO DEL ARQUEO.....	13
4. BIBLIOGRAFÍA.....	14
5. ANEXO I: PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE	

A lo largo de este cuaderno realizaremos el cálculo del francobordo y el arqueo de nuestro buque. Para ello utilizaremos el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 y Protocolo de 1988.

A modo de recordatorio adjuntamos la siguiente tabla con las características de nuestro buque:

<b>L</b>	269,7
<b>B</b>	43,2
<b>D</b>	26,3
<b>T</b>	11,5
<b>Volumen</b>	145.000
<b><math>\Delta</math></b>	105.379
<b>V</b>	19,5
<b>Fn</b>	0,1950
<b>Cb</b>	0,7673
<b>Cm</b>	0,9971
<b>Cp</b>	0,7905

## 2-CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

Para este cálculo hemos considerado la cubierta a 26,3 m. (cubierta principal), por ser la primera cubierta estanca más alta.

Aplicación de las reglas del Convenio Internacional de Líneas de Carga (sólo se muestran las que son aplicables a nuestro buque).

Primeramente debemos definir nuestras dimensiones de francobordo

### **Dimensiones**

#### Eslora de francobordo

Eslora en la flotación correspondiente al 85 % del puntal mínimo de trazado

-Total x 0,96: 268,972 m.

-Al eje de la mecha del timón: 275,82 m.

Por tanto, nuestra eslora de francobordo será

$$L = 275,82 \text{ m.}$$

#### Manga

$$B = 43,2 \text{ m.}$$

#### Puntal

$$D = 26,48 \text{ m.}$$

Espesor chapa = 18 mm.

#### Coeficiente de bloque

$$CB = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d1} = 0,7859$$

Donde:

d1: calado al 85 % del puntal (22,5).

$\nabla$ : 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 d1. (210.694,63 m<sup>3</sup>).

### **Regla 27. Tipos de barcos**

Nuestro buque es de tipo A, por llevar carga líquida.

### **Regla 28. Francobordo tabular**

Como tenemos una eslora de 275,82 m., realizamos una interpolación en la tabla para buques tipo A, y tenemos como resultado un francobordo tabular de:

$$FB_T = 3157,1$$

### **Corrección por coeficiente de bloque (Regla 30)**

Cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0,68, el francobordo tabular se multiplicará por el factor:

$$Corrección = \frac{CB_{85\%D} + 0,68}{1,36} = 1,0836$$

Donde:

$$CB_{85\%D} = 1,01 \cdot CB = 0,7937$$

### **Corrección por puntal (Regla 31)**

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

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

Donde:

R = L/0,48 para esloras inferiores a 120 m.

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

Por tanto:

Como nuestro puntal tiene un valor de 26,48 m. y la relación L/15 tiene un valor de 18,38, tendremos que hacer corrección por puntal.

$$Corrección = \left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot R = 2023$$

---

### Corrección por superestructuras

La única superestructura que corrige es la formada por los domos de los tanques. Según lo enunciado por el Convenio de Líneas de Carga, se trata de un tronco.

Su longitud es 182,225 m.

altura normal superestructuras (m)	
L>125	2,3

La altura real de la superestructura es de 8,23 m.

#### Regla 36. Troncos

1) Para que un tronco o construcción análoga que no se extienda de banda a banda del buque que se considere eficaz, deberá cumplir las siguientes condiciones:

1. el tronco será al menos tan resistente como una superestructura;

2. las escotillas estarán dispuestas en la cubierta del tronco, las brazolas y tapas de las escotillas cumplirán lo prescrito en las reglas 13 a 16 inclusive y la anchura del trancañil de la cubierta del tronco será de amplitud suficiente para constituir una pasarela satisfactoria y proporcionará una rigidez lateral adecuada. Sin embargo, en la cubierta de francobordo se podrán permitir pequeñas aberturas de acceso con tapas estancas;

3. la cubierta del tronco o varios troncos separados unidos a las superestructuras por pasarelas permanentes y eficaces proporcionarán una plataforma longitudinal permanente de trabajo dotada de barandillas;

4. los ventiladores estarán protegidos por el tronco, por tapas estancas o por cualquier otro sistema equivalente;

5. en las partes de la cubierta de francobordo expuestas a la intemperie en la zona del tronco existirán barandillas abiertas, al menos en la mitad de su longitud, o también pueden instalarse portas de desagüe en la parte inferior de la amurada, conforme a la regla 24.2), siempre que su área represente el 33% de la superficie total de la amurada;

6. los tambuchos de maquinaria estarán protegidos por el tronco, por una superestructura de altura normal por lo menos, o por una caseta de la misma altura y resistencia equivalente;

7. la anchura del tronco será al menos igual al 60% de la manga del buque; y



8. cuando no haya una superestructura, la longitud del tronco será, al menos, igual a  $0,6L$ .

2) la longitud efectiva de un tronco eficaz será su longitud total reducida en la relación entre su anchura media y  $B$ .

3) La altura normal de un tronco será la altura normal de una superestructura que no sea una cubierta de saltillo.

En nuestro caso, los domos cumplen estas características, por lo que los clasificaremos como troncos.

Bdomos	34,92
Ldomos	182,25
$0,6L$	165,44
$0,6B$	25,92

#### Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos

El tronco para que sea efectivo ha de tener una eslora mayor que  $0,6L$  y una anchura mayor que  $0,6B$ .

En este caso habrá que reducir el francobordo una cantidad igual a la siguiente:

$$C = 1070 \cdot P$$

Calcularemos el coeficiente  $P$  por medio de la longitud efectiva de superestructuras.

Vemos que porcentaje representa con respecto a la eslora del buque y cuál es la reducción que le corresponde. Además corregiremos por un factor de la manga de superestructura y del buque.

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

**Porcentaje de reducción para buques de los tipos 'A' y 'B'**

	Longitud efectiva total de superestructuras y troncos										
	0	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,6 L	0,7 L	0,8 L	0,9 L	1 L
<b>Porcentaje de reducción para todos los tipos de superestructuras</b>	0	7	14	21	31	41	52	63	75,3	87,7	100

Los porcentajes correspondientes a longitudes intermedias de superestructuras y troncos se obtendrán por interpolación lineal.

**Tabla 37.1**

Vamos a realizar además una corrección por manga, ya que nuestra superestructura no va de banda a banda.

b: anchura de la superestructura en mitad de su longitud (34,92 m.)

B: manga del buque en la mitad de la longitud de la superestructura (43,2 m.)

$b/B = 0,8083$

$L_{domos} = 182,225 \text{ m.}$

$\%L_{domos} = 182,225/275,82 = 0,6608$

Interpolando en la tabla anterior obtenemos el valor de 58,666, por tanto, nuestra corrección será:

$$Corrección = 1070 \cdot 0,58666 \cdot 0,8083 \approx 508$$

**Corrección por arrufo**

Nuestro buque no tiene arrufo, sin embargo se realizará la siguiente corrección.

Curva de arrufo normal

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

Curva de arrufo normal  
(L en m)

	Situación	Ordenada (en mm)	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 buque	0	1
Mitad de proa	Centro del buque	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

A partir de esta tabla, construimos la nuestra con nuestros valores

Mitad de popa	Situación	Ordenada real	FS	Producto		
	PP	2308,50	1	2308,50		
	1/6 Lpp (PP)	1030,53	3	3091,60		
	2/6 Lpp (PP)	267,43	3	802,30		
	Centro	0,00	1	0,00	<b>Arrufo popa</b>	6202,40
<b>Mitad de proa</b>	Centro	0,00	1	0,00		
	2/6 Lpp (PR)	570,86	3	1712,59		
	1/6 Lpp (PR)	2263,07	3	6789,20		
	PR	5097,00	1	5097,00	<b>Arrufo proa</b>	13598,80

Defecto de arrufo en popa = -6203

Defecto de arrufo en proa = -13599

Variación de arrufo en popa =  $-6201/8 = -776$

Variación de arrufo en proa =  $-13599/8 = -1700$

Variación de arrufo  $\rightarrow (-776 - 1700)/2 = -1238$

Factor  $\rightarrow 0,75 \cdot S1/L$ . S1 es la longitud total de las superestructuras. En nuestro caso, es cero. Por tanto, el factor es 0,75.

Corrección por arrufo =  $0,75 \cdot 1238 = 929$ .

Finalmente nos queda:

<b>FB tabular</b>	3158
<b>Corr. Cb</b>	1,0836
<b>Corr. D</b>	2023
<b>Corr. Super.</b>	508
<b>Corr. Arrufo</b>	929

$$FB = 3158 \cdot 1,0836 + 2023 - 508 + 929 = 5866 \approx 5867 \text{ mm.}$$

### Altura mínima de proa. Regla 39

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 proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$Fb = (6075(L/100) - 1875(L/100)^2 + 200(L/100)^3) * (2,08 + 0,609C_b - 1,603C_{wf} - 0,0129(L/d_1))$$

Donde:

$$L = 275,73 \text{ m.}$$

$$B = 43,2 \text{ m.}$$

Dd<sub>1</sub>: calado al 85 % del puntal (22,50)

C<sub>wf</sub>: coeficiente del área de la flotación a proa de L/2. (0,9053)

C<sub>b</sub> (0,8208).

Se exige una altura mínima de proa de:

$$Fb = 7.084,55 \text{ mm.}$$

Según lo calculado en el cuaderno 5, para el mayor calado en la perpendicular de proa (13,321 m., condición de carga 1, salida de puerto a plena carga), cumplimos sobradamente, teniendo en cuenta que nuestro puntal es de 26,3 m.

### Francobordos

Francobordo de verano (Regla 40)

Ya lo hemos calculado anteriormente, su valor es: 7.085 mm = 7,085 m.

$$T_{\text{verano}} = D - F_{b\text{verano}} = 26,48 - 7,085 = 19,395 \text{ m.}$$

Nuestro francobordo real es mayor que el francobordo geométrico calculado mediante el Convenio de Líneas de Carga. Debido a los cálculos estudiados en el cuaderno 5 estará sancionado por estabilidad ya que en la condición de máxima calado su calado es 12,34 m. Hemos de sumar un margen de 0,5 mm. Tenemos por tanto 12,84 m.

Por tanto nuestro francobordo mínimo será:

---

$FB_{\text{mínimo}} = 26,48 - 12,84 = 13,64$ . Por tanto realizaremos los cálculos a partir de este francobordo mínimo.

Nuestro calado de verano será:

$$T_{\text{verano}} = 12,84 \text{ m.}$$

El francobordo de verano es el mínimo calculado.

$$FB_{\text{verano}} = 13.640 \text{ mm.}$$

#### Francobordo tropical

Se ha obtenido restándole al valor del francobordo de verano el factor  $T_{\text{verano}}/48$ .

$$FB_{\text{tropical}} = 13.380 \text{ mm.}$$

#### Francobordo de invierno

Se ha obtenido sumándole al francobordo de verano el factor anterior.

$$FB_{\text{invierno}} = 13.908 \text{ mm.}$$

#### Francobordo para el Atlántico Norte Invierno

Este francobordo se ha obtenido sumándole 50 mm. al francobordo de invierno, con lo cual toma un valor de:

$$FB (\text{Atl. N. Inv.}) = 13.958 \text{ mm.}$$

#### Francobordo para agua dulce

Este francobordo se ha calculado mediante la siguiente expresión

$$FB_{\text{agua dulce}} = FB_{\text{verano}} - \frac{\Delta}{40TCI} = 13.612 \text{ mm.}$$

$\Delta$ : desplazamiento correspondiente al calado de verano = 117.658 t.

$$TCI = 104,065$$

### **3-CÁLCULO DEL ARQUEO**

Para el cálculo de este apartado se ha utilizado el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969.

#### **Arqueo bruto (GT)**

El arqueo bruto de un buque se calcula aplicando la siguiente expresión, contenida en el convenio citado al inicio de este apartado:

$$GT = k1 \cdot V = 95.959 \text{ GT}$$

Donde:

$k1$ : constante que viene definida por la siguiente expresión

$$k1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log V = 0,3098$$

Donde:

$V$ : volumen total de espacios cerrados

$$V_T = V_h + V_{\text{DOMOS}} + V_{\text{SUPERESTRUCTURA}} + V_{\text{CHIMENEA}} = 309.744 \text{ m}^3.$$

---

Volúmenes	
Casco	262634
Domos	36700,27
Superestructura	8597,6877
Chimenea	1811,13677
<b>TOTAL</b>	<b>309743,094</b>

### Arqueo neto (NT)

Para el cálculo del arqueo neto se ha utilizado la siguiente expresión:

$$NT = K2 \cdot Vc \cdot \left[ \frac{4d}{3D} \right] + K3 \cdot \left( N1 + \frac{N2}{10} \right) = 26.763 NT$$

Donde:

Vc: volumen total de carga (149.648 m<sup>3</sup>, tomado del cuaderno 4).

K2: constante cuyo valor viene dado por la expresión:

$$K2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log Vc = 0,3035$$

K3: contante cuyo valor viene dado por la expresión:

$$K3 = 1,25 \cdot \frac{GT + 10000}{10000} = 13,24$$

D: puntal de trazado en el centro del buque expresado en metros (26,48).

d: calado de trazado en el centro del buque expresado en metros (11,5).

N1: número de pasajeros en camarotes que no tengan más de ocho literas (35).

N2: número de los demás pasajeros (0).

NT no debe tomarse inferior a 0,30 GT, por tanto, hemos de comprobar que igual o sobrepasa este valor:

$$0,30 \cdot GT = 28.788 NT$$

Nuestro valor de NT es menor, por tanto, hemos de tomar éste último.

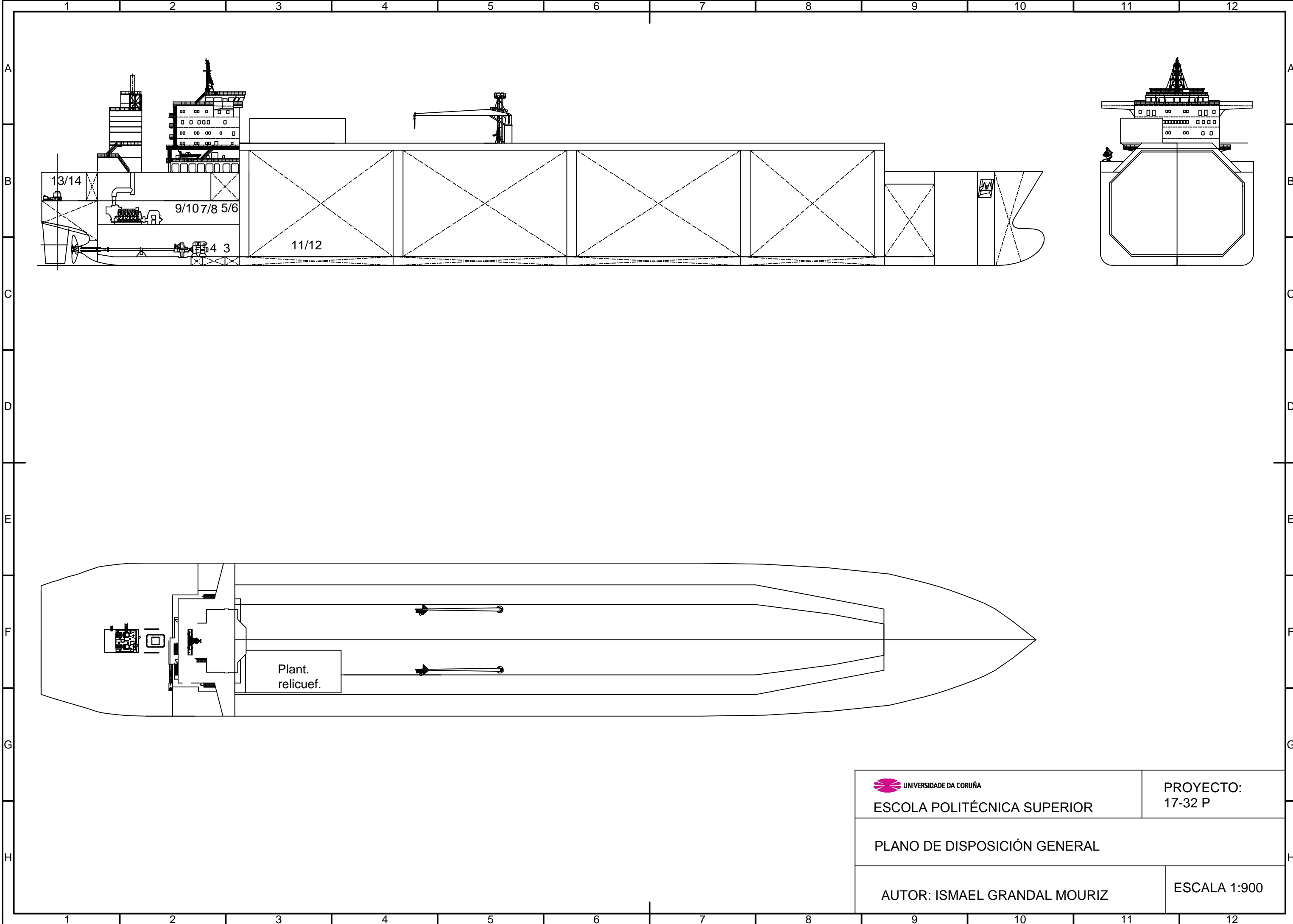
### 4-BIBLIOGRAFÍA

-Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969.

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

# ANEXO I

Plano de disposición general del buque



13/14

9/107/8 5/6

4 3

11/12

Plant.  
relicuef.


 UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
 ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR

PROYECTO:  
 17-32 P

PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL

AUTOR: ISMAEL GRANDAL MOURIZ

ESCALA 1:900

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK