



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado/Máster**  
**CURSO 2020/2021**

---

*BULKCARRIER 100 000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA/O**

Sofía Fraga Ludeiro

**TUTOR**

Marcos Míguez González

**FECHA**

JULIO 2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2020/2021**

---

*BULKCARRIER 100 000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 8**

**CUADERNA MAESTRA**

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

*CURSO 2020-2021*

**PROYECTO NÚMERO**

**TIPO DE BUQUE:** Bulkcarrier

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

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 100 000 T.P.M Grano/ mineral

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 15 nudos en servicio al 85% MCR +15% y 15.000 millas a la velocidad de servicio

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Escotillas de accionamiento hidráulico

**PROPULSIÓN:** Motor dual diésel y gas con hélice de paso fijo

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 13 tripulantes

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:**

Lo habitual en este tipo de buques

Ferrol, 2 Octubre 2020

ALUMNO/A: **D<sup>a</sup> SOFÍA FRAGA LUDEIRO**

## Índice

Introducción .....	6
1.1 Diseño estructural .....	6
1.1.1 Croquis Cuaderna Maestra .....	7
2 Dimensiones de escantillonado .....	8
2.1 Eslora de escantillonado .....	8
2.2 Manga de escantillonado .....	8
2.3 Calado de escantillonado .....	8
2.4 Coeficiente de bloque .....	8
2.5 Espaciado entre cuadernas y bulárcamas .....	9
2.6 Parámetros básicos .....	9
2.6.1 Parámetro de ola .....	9
3 Módulo resistente y momento de inercia de la Cuaderna Maestra .....	10
3.1 Módulo resistente .....	10
3.2 Módulo requerido .....	10
3.3 Momento de Inercia .....	12
4 Escantillonado de la cuaderna maestra .....	13
4.1 Estructura del fondo .....	13
4.1.1 Altura de doble fondo .....	13
4.1.2 Presiones del fondo .....	14
4.1.3 Quilla .....	15
4.1.4 Chapa de fondo .....	15
4.1.5 Longitudinales de la chapa del fondo (perfiles comerciales) .....	16
4.1.6 Refuerzos Primarios Fondo .....	17
4.1.7 Vagras .....	18
4.1.1 Varengas .....	19
4.1.2 Chapa del Doble Fondo .....	20
4.1.3 Longitudinales del Doble Fondo (perfil comercial) .....	23
4.1.4 Espesor de una chapa de Pantoque .....	23
4.2 Estructura del forro .....	24
4.2.1 Presión costado sumergido .....	24
4.2.2 Espesor del costado .....	25
4.2.3 Longitudinales del forro( perfil comercial) .....	26
4.2.4 Espesor de los refuerzos primarios del forro .....	27
4.3 Estructura de cubierta .....	28
4.3.1 Presión en cubierta .....	28

---

4.3.2	Espesor de la chapa de cubierta.....	29
4.3.3	Espesor traca de trancanil .....	30
4.3.4	Longitudinales de la cubierta (perfil comercial) .....	30
4.3.5	Espesor de refuerzos primarios cubierta.....	30
4.4	Estructura Mamparos.....	32
4.4.1	Presión del mamparo.....	32
4.4.2	Mamparo corrugado .....	33
4.4.3	Longitudinal del mamparo corrugado (perfil comercial).....	33
4.4.4	Mamparo transversal estanco.....	34
5	Cálculo del Módulo y de la Inercia.....	35
5.1	Tabla resumen de los resultados obtenidos .....	35
6	Anexo I.....	36
6.1	Perfiles catálogo .....	36
6.2	Tabla de inercias .....	36
7	ANEXO II: Plano Cuaderna Maestra .....	41

## INTRODUCCIÓN

En este Cuaderno se realizarán los cálculos necesarios para una primera estimación de la resistencia longitudinal del Buque proyecto.

A continuación, se muestran las diferentes dimensiones y coeficientes obtenidos en el Cuaderno 3 “Coeficientes y Plano de Formas”:

Parámetros de forma del buque	
Eslora entre Perpendiculares	241 m
Manga	38 m
Calado	15,15 m
Puntal	21 m
Desplazamiento ( $\Delta$ )	119786 t
Superficie Mojada	14483,269 m <sup>2</sup>
Coeficiente de Bloque	0,838
Coeficiente Prismático	0,845
Coeficiente de la Maestra	0,996
Coeficiente de Flotación	0,908
Velocidad	15 nudos
Semi ángulo de entrada	36°
Potencia al 85 % MCR	20291,8 Kw
RPM	87 rpm

### 1.1 Diseño estructural

Para buques de gran longitud, es decir una eslora de más de 200 m, las sociedades de clasificación suelen exigir una estructura longitudinal, por tanto, esa es la estructura que se desarrollará en este cuaderno.

El Buque Proyecto es un bulkcarrier, como ya se ha mencionado en cuadernos previos. Este tipo de barco se caracteriza por el transporte de cargas a granel, como pueden ser grano o carbón.

Debido al tipo de carga que estos buques transportan tienen la necesidad de una estructura particular en las bodegas:

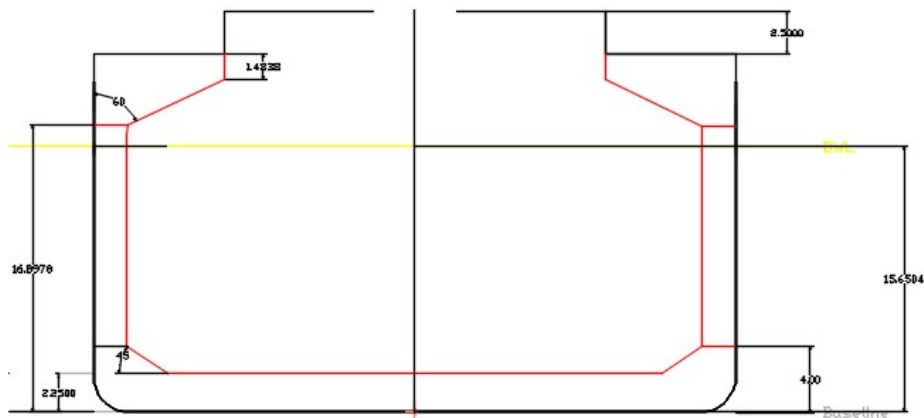
- El buque dispondrá de **tolvas superiores e inferiores** en la unión del costado con la cubierta a modo de tanque de lastre. Además, estas tolvas superiores elevan el centro de gravedad del buque, aumentando así el periodo de balance.

Otros datos que serán de relevancia a la hora de analizar este buque serán los que se recogen en la siguiente tabla:

DATOS RELEVANTE	
Separación de longitudinales	750 mm
Separación de transversales	2250 mm (3 claras de cuaderna)
separación de cuadernas	750 mm

### 1.1.1 Croquis Cuaderna Maestra

Además de estos datos obtenidos en cuadernos anteriores también se adjunta croquis de la cuaderna maestra, que servirá de guía para obtener los cálculos para este cuaderno.



## 2 DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

Para este apartado se utilizará el reglamento DNV Part 3, chapter 1, seccion 4.

### 2.1 Eslora de escantillonado

Para definir la eslora del escantillonado se utilizará el reglamento previamente establecido en la RPA, es decir el DNV, en él se establece lo siguientes

#### 3.1.1 *L*, rule length

The rule length  $L$  is the distance, in m, measured on the waterline at the scantling draught  $T_{SC}$  from the forward side of the stem to the centre of the rudder stock.  $L$  shall not be less than 96% and need not exceed 97% of the extreme length on the waterline at the scantling draught  $T_{SC}$ .

In ships without rudder stock, e.g. ships fitted with azimuth thrusters, the rule length  $L$  shall be taken equal to 97% of the extreme length on the waterline at the scantling draught  $T_{SC}$ .

In ships with unusual stem or stern arrangements, the rule length shall be considered on a case-by-case basis and agreed with the Society.

Por tanto se establece que:

$$L = \max(0.96 * Lwl; \min(0.97 * Lwl; Lpp))$$

$$L = 233,77 \text{ m}$$

Siendo como se indica en la introducción,

Lwl=241 m

Lpp=241 m

### 2.2 Manga de escantillonado

La manga de escantillonado se toma la manga máxima del buque.

$$B_{sc} = 38 \text{ m}$$

### 2.3 Calado de escantillonado

El calado de escantillonado será muy similar al calado establecido para el buque proyecto, que en este caso es de 15.15 m pero en este caso se aportará un margen de medio metro por seguridad en los cálculos de resistencia:

$$T_{sc} = 15,65 \text{ m}$$

### 2.4 Coeficiente de bloque

Como viene establecido en el reglamento;

#### 3.1.9 Block coefficient

$C_B$ , the block coefficient at the draught,  $T_{SC}$  is defined in the following equation:

$$C_B = \frac{\Delta}{1.025 L B T_{SC}}$$

where:

$\Delta$  = moulded displacement of the ship, in t, at draught  $T_{SC}$ .

$$Cb = \frac{\Delta}{1.025 * L * B * Tsc}$$



$$Cb = \frac{125622}{1.025 * 251.52 * 38 * 15.65}$$

$$Cb = 0,855$$

Donde,

- Δ: Donde este valor fue obtenido de las hidrostáticas Maxsurf Stability para un calado de escantillonado de 15.65 m

Hidrostáticas a 15,65 m	
Displacement t	125622
Volume (displaced) m <sup>3</sup>	122558,531
Heel deg	0
Draft at FP m	15,65
Draft at AP m	15,65
Draft at LCF m	15,65
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	241,203
Beam max extents on WL m	38,697
Wetted Area m <sup>2</sup>	14513,169
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	8372,035
Block coeff. (Cb)	0,839

## 2.5 Espaciado entre cuadernas y bulárcamas

Como se ha establecido previamente en el cuaderno 4 la separación de cuadernas será de 750mm independientemente de la zona a tratar y además las bulárcamas irá separadas 3 claras de cuaderna es decir 2250 mm.

## 2.6 Parámetros básicos

Los parámetros básicos han sido obtenido mediante el reglamento DNV, Part 3, chapter 4. section 3 y Part 3, chapter 4, section 4

### 2.6.1 Parámetro de ola

$$C_w = 10.75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \text{ para } 90 \leq L \leq 300$$

$$C_w = 10,21$$

Donde,

- L es la eslora de escantillonado cuyo valor es de 233.77 m

## 3 MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA DE LA CUADERNA MAESTRA

### 3.1 Módulo resistente

Es necesario que la cuaderna maestra cumpla con los requisitos de resistencia longitudinal, para ello se tomará de referencia la fórmula empírica que se encuentra en el reglamento establecido en la RPA, DNV, Pt.3, Chp1, sec5 C302:

$$Z_0 = \frac{Cw0}{f1} * L^2 * B * (Cb + 0.7)$$
$$Z_0 = 32969873,87 \text{ cm}^3$$

Donde:

- L=Eslora de escantillonado
- Cb=coeficiente de bloque de escantillonado
- B=manga de escantillonado
- F1= tiene valor 1 ya que está relacionado con el tipo de acero
- Cw0= CW=10,21

Este valor servirá para comprobar que los resultados obtenidos son correctos ya que el valor del módulo del barco proyecto en la condición de carga más restrictiva debería de ser mayor al valor obtenido en este apartado.

### 3.2 Módulo requerido

Según el DNV Pt. 3, Ch.1, Sec. 5 C303:

$$Z_0 = \frac{[Ms + Mw]}{\sigma} * 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Donde,

- $\sigma_{perm} = 175 \frac{N}{mm^2}$  para secciones dentro de 0.4 L desde la maestra y acero normal
- $\sigma_{perm} = 125 \frac{N}{mm^2}$  para 0 withing 0.1L from A.P or F.P

Para aguas tranquilas el valor del momento vertical es igual al indicado en el DNV Pt3. Ch1 Sec 5.

**106** The design stillwater bending moments amidships (sagging and hogging) are normally not to be taken less than:

$$M_S = M_{SO} \text{ (kNm)}$$

$$M_{SO} = -0.065 C_{WU} L^2 B (C_B + 0.7) \text{ (kNm) in sagging}$$
$$= C_{WU} L^2 B (0.1225 - 0.015 C_B) \text{ (kNm) in hogging}$$

$C_{WU} = C_W$  for unrestricted service.

Larger values of  $M_{SO}$  based on cargo and ballast conditions shall be applied when relevant, see 102.

For ships with arrangement giving small possibilities for variation of the distribution of cargo and ballast,  $M_{SO}$  may be dispensed with as design basis.

- Para la situación de arrufo por tanto:

$$M_s \text{ arrufo} = -0.065 * Cwu * L^2 * B * (Cb + 0.7)$$

$$M_s \text{ arrufo} = -21430418,02 \text{ Kn} * m$$

- Para la situación de quebranto se obtiene:

$$M_{\text{quebranto}} = C_w u \cdot L^2 \cdot B \cdot (0.122 - 0.015 \cdot C_b)$$

$$M_{\text{quebranto}} = 2314781,98 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

Para el momento generado por olas obtenemos según el DNV, se adjunta normativa:

**3.1.1** The vertical wave bending moments at any longitudinal position, in kNm, shall be taken as:

Hogging condition:

$$M_{wv-h} = 0.19 \cdot \frac{f_R}{0.85} f_{nt-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Sagging condition:

$$M_{wv-s} = -0.19 \cdot \frac{f_R}{0.85} f_{nt-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

where:

$f_{nt-vh}$  = coefficient considering non-linear effects applied to hogging, shall be taken as:  
 $f_{nt-vh} = 1.0$  for strength and fatigue assessment

$f_{nt-vs}$  = coefficient considering non-linear effects applied to sagging, shall be taken as:

$$f_{nt-vs} = 0.5789 \left( \frac{C_B + 0.7}{C_B} \right) \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_{nt-vs} = 1.0 \quad \text{for fatigue assessment}$$

$f_R$  = factor related to the operational profile, to be taken as:  
= 0.85 for strength assessment  
= as given in Ch.9 Sec.4 [4.3] for fatigue assessment

$f_p$  = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_p = f_{fa} \cdot f_{vib} [0.27 - (6 + 4f_T) L \cdot 10^{-5}] \quad \text{for fatigue assessment}$$

$f_{vib}$  = correction for minimum contribution from hull girder vibration  
= 1.10 for  $B \leq 28$  m

- Para la situación de quebranto:

$$M_{\text{dina - Quebranto}} = 0.19 \cdot \frac{f_r}{0.85} \cdot f_{nlvh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_b$$

$$M_{\text{dina - Quebranto}} = 3444377,701 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

- Para la situación de arrufo:

$$M_{\text{dina - arrufo}} = -0.19 \cdot \frac{f_r}{0.85} \cdot f_{nlvh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_b$$

$$M_{\text{dina - arrufo}} = -3444377,701 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

Donde:

- $C_w = C_w$ , cuyo valor ya se ha definido previamente y es 10,21
- $f_r = 0.85$ , es un factor relacionado con el perfil operacional.
- $f_{nlvh} = 1$ , coeficiente debido a los efectos no lineales del quebranto.
- $f_{nlvs} = 1$ , coeficiente debido a los efectos no lineales del arrufo.

- $f_m=1$
- $f_p=1$

Por tanto, el módulo requerido será tal que se deán as peores situaciones de todas ellas:

$$Z_0 = \frac{[Ms + Mw]}{\sigma} * 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z_0 = \frac{[211430418,02 + 2314781,98]}{175} * 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z_0 = 109232205,9 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Una vez escantillonada la cuaderna, este valor se comparará con el módulo real obtenido al final de este documento.

### 3.3 Momento de Inercia

El momento de Inercia se calcula como recoge en EDNV en la Part.3, Ch.5, Sec.2

$$I = 3 * fr * Cw * L^3 * B * (Cb + 0.7) * 10^{-8} \text{ (m}^4\text{)}$$

$$I = 261,22 \text{ m}^4$$

Donde:

- $fr=1$  por ser factor restrictivo dependiendo de la zona por la que se navegue.
- $Cw=10,21$
- $L$  es la eslora de escantillonado
- $B$  es la manga
- $Cb$  es el coeficiente de bloque previamente calculado

## 4 ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA

En este apartado se pretende calcular el escantillonado local de la cuaderna maestra del buque proyecto mediante las reglas establecidas por la sociedad de clasificación escogida en la RPA, más concretamente el DNV. De esta manera se garantizará que las fuerzas locales que actúan sobre los diferentes elementos, planchas y refuerzos primarios, tengan el espesor necesario.

La separación de cuadernas es de 750 mm, la separación de los elementos primarios transversales es de 3 claras de cuadernas que equivale a 2250 mm y la separación de los refuerzos longitudinales será de 750 mm.

Estas separaciones anteriormente mencionadas se mantendrán en fondo y cubierta, así como en los longitudinales de los costados para asegurar una continuidad estructural.

### 4.1 Estructura del fondo

#### 4.1.1 Altura de doble fondo

La altura del doble fondo se determina mediante la fórmula empírica recomendada en la sociedad de clasificación, en este caso el DNV, Part 3, chapter 2, section 2.3 establece lo siguiente:

#### 2.3 Height of double bottom

Where a double bottom is required to be fitted the inner bottom shall be continued out to the ship side in such a manner as to protect the bottom to the turn of bilge. Such protection will be deemed satisfactory if the inner bottom is not lower at any part than a plane parallel with the keel line and which is located not less than a vertical distance  $h_{DB}$  measured from the keel line, in mm, as calculated by the formula:

$$h_{DB} = 1000 \cdot B/20, \text{ minimum } 760 \text{ mm}$$

The height,  $h_{DB}$ , need not be taken more than 2000 mm.

The height,  $h_{DB}$ , shall be sufficient to give good access to all parts of the double bottom. For ships with large rise of floor, the minimum height may have to be increased after special consideration.

Por tanto la altura del doble fondo para este proyecto será:

$$Hdb = 1000 * B/20$$

$$Hdb = 2050 \text{ mm}$$

Como en DNV se establece que la altura máxima debe de ser no más de siempre y cuando no haya ningún condicionante en este caso por motivos de seguridad y futuras reparaciones la altura que se supondrá para el doble fondo será de:

$$Hdb = 2250 \text{ mm}$$

### 4.1.2 Presiones del fondo

Vamos a considerar la  $P_{ex}$  tal que sea la siguiente expresión y siendo el fondo equivalente a  $z=0$ .

$$P_{ex} = P_s + P_w$$

$$P_{ex} = 130,93 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.1.2.1 Presión ESTÁTICA hidrodinámica

El reglamento indica que se calcule tal que:

$$P_s = \rho * g * (Tlc - z)$$

$$P_s = 1,025 * 9,81 * (15,65 - 0)$$

$$P_s = 157,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### 4.1.2.2 Presión DINÁMICA hidrodinámica

La presión dinámica será el máximo valor de los que se muestran a continuación

$$P_w = \max\{-P_{hs}; \rho * g * (z - Tlc)\} = -26,42 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

$$\rho * g * (0 - 15,65) = -157,36$$

$$\rightarrow P_{hs} = C_{ft} * f_{ps} * f_{nl} * f_h * k_a * k_p * f_{yz} * C_w * \sqrt{\left(\frac{(L_o + \lambda - 125)}{L}\right)}$$

$$P_{hs} = 26,42$$

$$\rightarrow C_{ft} = f_t + 0,5 - (0,7 * f_t - 0,2) * C_b$$

$$C_{ft} = 1,1095$$

$\rightarrow F_t = 1$  ya que la condición de carga no se ha definido

$$\rightarrow F_{yz} = C_x * \frac{Z}{Tlc} + (2 - C_x) * f_{yb} + 1$$

$$F_{yz} = 1,2631$$

$$\rightarrow F_{yb} = \frac{|2y|}{B_x} \text{ tomado } y = 10 \text{ (valor aleatorio)}$$

$$f_{yb} = 0,526$$

$$\rightarrow f_h = 0,3 * (121 - 0,66 * F_t)$$

$$f_h = 1,65$$

$$\rightarrow C_x = 1,5 - \frac{|x - 0,5 * L|}{L}$$

$$C_x = 1,5$$

$$\rightarrow f_{xl} = \frac{x}{L} = 0,5$$

se va a tomar para un punto a mitad del buque de manera aleatoria ya que las abscisas en el fondo lo afectan al resultado final, por tanto  $x=116,88$  m

$$\rightarrow Fnl = 0,9$$

$$\rightarrow \lambda = 0.6 * (1 + ft) * L$$

$$\lambda = 280,52$$

$\rightarrow Kp = 1$  debido a la siguiente tabla

$f_{xL}$	0	$0.3 - 0.1 f_T$	$0.35 - 0.1 f_T$	$0.8 - 0.2 f_T$	$0.9 - 0.2 f_T$	1.0
$k_p$	$-0.25 f_T(1 + f_{yB})$	-1	1	1	-1	-1

$\rightarrow Ka = 1$  para valores de  $0.15 \leq f_{xl} \leq 0.7$

### 4.1.3 Quilla

La quilla plana se trata del elemento central del fondo del buque, y contribuye a la resistencia longitudinal. Además este elemento es básico a la hora de la distribución de los esfuerzos locales.

Según el DNV, Part 3, chapter 3, section 5

En ancho de esta no debe ser menor que:

$$b_0 = 0.8 + L/200$$

$$b_0 = 1,96 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

En cuanto al espesor de la misma el reglamento recoge lo siguiente:

$$t = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t = 16,68 \text{ mm}$$

Donde para el fondo los valores son los siguientes:

- $a=5$
- $b=0.05$
- $K=$  viene ligado al tipo de acero y en este caso para 235 N/mm<sup>2</sup> vale 1
- $L=$  la eslora de escantillonado

Como se puede observar se utilizará por tanto una chapa para la quilla plana de **2.0 m de ancho y de un espesor de 17mm**

### 4.1.4 Chapa de fondo

La chapa de fondo tiene como función principal el mantener la estanqueidad al agua del mar además de aguantar el empuje por el agua, y así distribuir el esfuerzo a los diferentes refuerzos de la estructura.

Siguiendo la misma estructura que la utilizada para la quilla plana; Part 3, chapter 3, section 5 .

La longitud mínima de la chapa de fondo será tal que:

$$b_{chapa f} = (800 + 5 * L) * 10^{-3}$$

$$b_{chapa f} = 1,96 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

#### 4.1.4.1 Espesor mínimo para la chapa de fondo

$$t = a + b * L * \sqrt{k}$$
$$t = 12,67 \text{ mm} \approx \mathbf{12 \text{ mm}}$$

Siendo:

- $a=4.5$
- $b=0.035$
- $L$ =La eslora de escantillonado

#### 4.1.4.2 Espesor requerido por ser una chapa de fondo

$$t_{chapa \text{ fondo}} = 0,0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$
$$t_{chapa \text{ de fondo}} = 10,28 \text{ mm}$$

Donde,

- $\alpha_p = 1,041$
- $b = 750 \text{ mm}$
- $C_a = 0.8$
- $R_{eh} = 235$
- 

**Por tanto la chapa de fondo tendrá una longitud de 2 m y un espesor de 12 mm**

$$t_{chapa \text{ fondo}} = \mathbf{12 \text{ mm}}$$

#### 4.1.5 Longitudinales de la chapa del fondo (perfiles comerciales)

Los longitudinales del fondo será perfiles longitudinales, más concretamente perfiles tipo llanta bulbo. Estos refuerzos se colocan paralelos a crujía, sus funciones principales son las siguientes:

- Soportar el forro exterior evitando el pandeo y aportando resistencia longitudinal al casco.
- Repartir las fuerzas a la estructura transversal y de esta al resto de la estructura.

##### 4.1.5.1 Módulo requerido

Para hallar el módulo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{f_u * |P| * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eh}}$$
$$Z = \mathbf{301,95 \text{ cm}^3}$$

Donde:

- $C_s=0,6$
- $L_{bdg}=2,25$
- $F_{bdg}=12$
- $R_{eh}=235$
- $f_u=1,03$
- $s=750 \text{ mm}$



Por tanto se escogerá un refuerzo tipo llanta bulbo de **220x11.5 con un módulo de 323 cm<sup>3</sup>**

Se adjunta en el anexo I la tabla del perfil elegido y se representa en el plano de la cuaderna maestra también adjunto en el Anexo II.

#### 4.1.6 Refuerzos Primarios Fondo

El espesor mínimo de los refuerzos primarios en mm, no debería ser menor que,

$$t_w = \frac{C_m * f_{shr} * |P| * S * l_{shr}}{d_{shr} * C_t * \tau_{eh}} = 9,6 \text{ mm}$$

Donde,

- $f_{shr}$  es un factor de distribución de fuerza cortante, en este caso,

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
$f_{shr}$	0.5	0.4	0.7	0.5

- $C_t$ , coeficiente de la fuerza cortante, para el caso en el que estamos evaluando al buque proyecto,

Acceptance criteria	Structural member	$C_t$
AC-I	All stiffeners	0.75

- $L_{shr}$  longitud efectiva del refuerzo

$$l_{shr} = 748.8 \text{ mm}$$

- $D_{shr}$  grosor del refuerzo, que es la suma de c+t en el anexo de perfiles, del perfil escogido, en este caso vale 56.
- $\tau_{eh} = \frac{Reh}{\sqrt{3}} = 135.67$
- $C_m$  es el coeficiente de las fuerzas axiales, cortante y momento de flexión, en este caso tiene valor 1

$$0.71 \left( 1 - \left( \frac{0.75}{C_{xt}} \cdot \frac{Z}{Z_a} \right)^{e_0} \right)^{-\frac{1}{e_0}}, \text{ not less than 1 in other cases}$$

$$C_m = 1.5$$

- $C_{xt}$  puede variar entre estos valores dependiendo del valor del coeficiente  $C_s$ , con un valor de 0.85

$$C_{st} = 0.5 \text{ for } C_s \leq 0.5$$

$$= C_s \text{ for } 0.5 < C_s < 0.95$$

$$= 0.95 \text{ for } C_s \geq 0.95$$

- $C_s$  es el coeficiente del momento de torsión permitido,

$$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$C_s = 0.85$$

Acceptance criteria	Structural member	$\beta_s$	$\alpha_s$	$C_{s-max}$
AC-I	Longitudinal members	0.95	1.00	0.85

- $e_0$  tiene un valor de, siendo  $t_{wa}=12$  mm,  $h_w=340$  mm (estos valores se calculan en el perfil comercial en el apartado siguiente)  $R_{eH}= 235$

$$e_0 = 9.23 \left( \frac{h_w}{t_{wa}} \sqrt{R_{eH}} \right)^{-0.25}$$

$$e_0 = 2$$

- $C_{xt} = 0.52 * C_{st} + 0.56 = 1$

Además también como se establece en el DNV, Part 3, chapter 6, section 3

- $t_{longitudinales \ del \ fondo} = 4.5 + 0.005 * L = 5,66 \text{ mm}$

**Se escoge el valor máximo de los dos valores de este apartado y se obtiene:**

$$t_{refuerzo \ primario} = 9.5 \text{ mm}$$

#### 4.1.7 Vagras

Las vagras son refuerzos del fondo en sentido longitudinal parecidos a las varengas, están destinadas a participar en la resistencia longitudinal del buque además al mismo tiempo que refuerzan las varengas contra deformaciones por pandeo.

Dependiendo de la posición de la vagra tendrá alguna función adicional como puede ser:

-La vagra central tiene la misión de compartimentar el fondo.

-Las vagras laterales por otro lado se encarga de reforzar la vagra central del buque, además de poder ser usadas como separación de tanques, aunque en este buque proyecto esto no será así.

Para el cálculo de a vagra central, debido a que es estanca se calculará como si fuera un mamparo.

**4.1.7.1 Vagra central**

La vagra central se calculará como viene recogido para. PArt 3 chapter 6 section 3

$$vagra\ central = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t\ vagra\ central = 12,01\ mm$$

Por tanto los valores de los parámetros son:

- a=5
- b=0,03
- L=Eslora de escantillonado
- K=1

**4.1.7.2 Vagras laterales**

$$t\ vagra\ lateral = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t\ vagra\ lateral = 9,2\ mm$$

Además, el DNV también establece que el espesor tiene que cumplir:

$$tvagra\ lateral = 0.0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$

$$tvagra\ lateral = 11,6\ mm$$

**Por tanto, se escoge el mayor de los resultados y el espesor por tanto de las vagras laterales será:**

$$tvagra\ lateral = 11,5\ mm$$

**4.1.7.3 Altura mínima de las vagras**

$$h = 1000 * \frac{B}{20} = 1,9\ mm$$

**4.1.1 Varengas**

Las varengas son refuerzos primarios que actúan en sentido transversal en el fondo del buque.

Hay varios tipos de varengas dependiendo de si son estacas, llenas o abiertas, en este cuaderno calcularemos el espesor general. El reglamento establece que para refuerzos transversales el espesor mínimo es:

$$t\ varenga = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t = 8,97\ mm$$

- Con a=5 y b=0.017, L como ya se ha mencionado previamente es L de escantillonado y k vale 1.

**Como los refuerzos primarios como mínimo deben tener un espesor de 9 como se ha demostrado en el apartado de “Refuerzos primarios”**

$$tvarenga = 9\ mm$$

## 4.1.2 Chapa del Doble Fondo

El doble fondo está formado por tracas longitudinales unidas al resto de elementos del soporte estructural. Las funciones más importantes que implica son las siguientes:

- Contribuye a la resistencia longitudinal y transversal del buque
- Crea una superficie plana y resistente para poder llevar la carga.

Se seguirá la misma metodología que los elementos calculados previamente.

Además, se diferenciarán dos zonas, debido a las diferentes presiones que se van a encontrar.

-La zona de carga, donde la presión será ejercida por la carga a transportar

-La zona de los tanques de lastre.

### 4.1.2.1 Espesor de la chapa de doble fondo

1) Según el Dnv:

$$t_{\text{doble fondo}} = a + b * L * \sqrt{k}$$
$$t_{\text{doble fondo}} = 10,84 \approx \mathbf{11 \text{ mm}}$$

Donde:

a=5.5

b=0.025

2) También se considera el espesor debido a la presión lateral y se escogerá el espesor mayor de los dos:

- Debido a la presión del agua de lastre

$$t_{\text{doble fondo lastre}} = 0.0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$
$$t = \mathbf{12.39 \approx 12 \text{ mm}}$$

Donde:

$$P = P_{int} = P_{ls} + P_{td} = \mathbf{167,19 \text{ kN/m}^2}$$

$$P_{ls \text{ df}} = \rho * g * (z_{top} - z + h_{air}) + P_{drop}$$

$$P_{ls \text{ df}} = \mathbf{165,91 \text{ kN/m}^2}$$

$$P_{ld} = f_{cd} * (a_z(z_0 - z) + f_{ull} * a_x * (x_0 - x) + f_{ull} * a_y * (y_0 - y))$$

$$p_{ld} = \mathbf{1,28 \text{ KN/m}^2}$$

- La altura del tanque de lastre será de 18,75 m
- $\rho = 1.025$  del agua salada
- $P_{drop}=0$  ya que el tanque no va a rebosar

- $g=9,81$  m/s
- $z= 2,25$  m que es el punto de inicio del doble fondo.
- Para **pId** se necesitan una serie de parámetros que vienen indicadas en otra sección del reglamento, se adjunta captura de las fórmulas a utilizar:

### 3.2 Accelerations for dynamic load cases

#### 3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in  $m/s^2$ , shall be taken as:

$$a_x = f_\beta \left[ (-C_{XG}g \sin \varphi) + C_{XS}a_{surge} + C_{XP}a_{pitch}(z - R) \right]$$

#### 3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in  $m/s^2$ , shall be taken as:

$$a_y = f_\beta \left[ C_{YG}g \sin \theta + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll}(z - R) \right]$$

#### 3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in  $m/s^2$ , shall be taken as:

$$a_z = f_\beta \left[ C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch}(x - 0.45L) \right]$$

$$a_{pitch} = f_p \left( 1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad L \geq 150 \text{ m}$$

$$a_{heave} = \left( 1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g \quad L \geq 150 \text{ m}$$

$$a_{sway} = 0.3 \left( 2.25 - \frac{20}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g$$

Se adjunta tabla recopilatorio de los valores utilizados para las diferentes aceleraciones:

Resultados de las aceleraciones necesarias	
Término	valor
<b>a0</b>	0,35348
<b>aroll</b>	0,0280
<b>Periodo de <math>\Theta</math></b>	22,7424
<b>asurge</b>	1,1313
<b>aheave</b>	3,5171
<b>apitch</b>	0,04796
<b>Ángulo de pitch</b>	9,7006
<b>Pitch period <math>T\varphi</math></b>	13,40078
<b>Lambda</b>	280,524

A demás también se adjunta las diferentes posiciones tomadas para el cálculo de dichas aceleraciones en otra tabla recopilatorio:

Posición en (m)	
<b>cxg</b>	0,6
<b>cxs</b>	0,1

<b>Cxp</b>	-0,7
<b>cyg</b>	0
<b>cys</b>	0
<b>Cyr</b>	0
<b>Czh</b>	0,35
<b>Czr</b>	0
<b>Czp</b>	-0,7
<b>z</b>	0
<b>x</b>	116,885

- Espesor debido a la presión de la carga

$$P = pbs + pbd = 104.43 \text{ kN/m}^2$$

$$\rightarrow Pbs = \rho_c * g * Kc * (z_c - z) = 98.39 \text{ Kn/m}^2$$

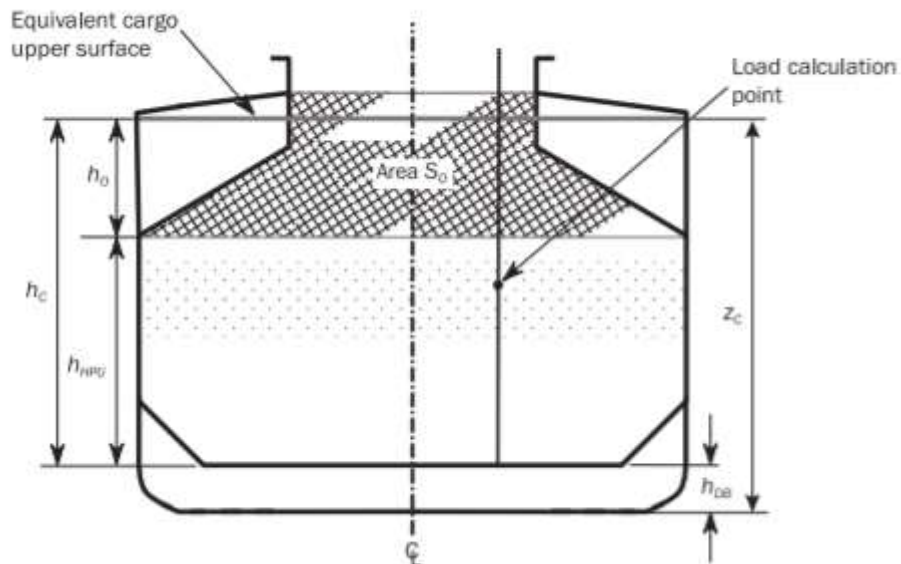
$$KC = \cos^2 \alpha + (1 - \sin \Psi) * \sin^2 \alpha = 0.823$$

$$\rightarrow \alpha = 30^\circ$$

$$\rightarrow \Psi = 45^\circ$$

$$\rightarrow Pbd = -0.75 * \rho_c * a_x * hc = 6.04$$

- Debido a la geometría de la bodega se establece que  $hc=18.75 \text{ m}$
- La densidad es tomada como  $0.65 \text{ t/m}^2$
- Se adjunta imagen de los parámetros de la bodega que se adjunta en el DNV



Aplicando la misma fórmula que con el agua de lastre se obtiene lo siguiente:

$$t_{\text{doble fondo carga}} = 0.0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$

$$t_{\text{doble fondo carga}} = 9 \text{ mm}$$

**Por tanto como se puede observar el espesor mayor será el causado por el agua de lastre y por tanto se escoge un espesor de:**

$$t \text{ doble fondo} = 12 \text{ mm}$$

### 4.1.3 Longitudinales del Doble Fondo (perfil comercial)

#### 4.1.3.1 Módulo requerido

Para hallar el módulo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{f_u * |P| * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_e h}$$
$$Z = 386,43 \text{ cm}^3$$

Donde:

- $C_s=0,6$
- $L_{bdg}=2,25$
- $F_{bdg}=12$
- $R_e=235$
- $f_u=1,03$
- $s=750 \text{ mm}$

**Por tanto se escoge un perfil de 240x11 y con un módulo de 391 cm<sup>3</sup>**

### 4.1.4 Espesor de una chapa de Pantoque

El espesor de la chapa de pantoque el DNV, part 3, chapter 6 section 3 establece que el espesor mínimo es tal que:

$$t = a + b * L * \sqrt{k} = 12,67 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

Donde:

- $a=4.5$
- $b=0.035$

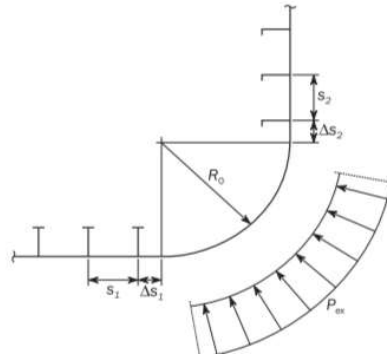
El reglamento también establece que debido a la curvatura de la chapa un requerimiento especial del espesor es tal que:

$$t_{pantoque} = 6.45 * 10^{-4} * (P_{ext} * s b)^{0.4} * R^{0.6} = 6,12 \text{ mm}$$

Siendo:

$$R = R_0 + 0.5 * (\Delta s_1 + \Delta s_2)$$

- $R$ = radio efectivo del pantoque en 13 mm
- $R_0$ =Radio de curvatura del pantoque en mm ,1630 mm, dato obtenido del plano del cuaderno 3
- $\Delta s_1$  y  $\Delta s_2$  es la distancia reflejada en la imagen que se adjunta a continuación y tienen un valor de 187,5 mm, dato obtenido
- $S_b$ = separación de los elementos transversales, que equivale a 3 claras de cuaderna o lo que es lo mismo 2250 mm.



Antes de establecer el espesor del pantoque hay que destacar que en el reglamento se establece que los espesores de las chapas de pantoque no deben ser menores que las del espesor de las chapas adyacentes a ellas.

**En este caso el espesor de las chapas del pantoque será de:**

$$t_{pantoque} = 13 \text{ mm}$$

## 4.2 Estructura del forro

### 4.2.1 Presión costado sumergido

LA presión del costado sumergido se determina mediante las siguientes fórmulas que se pueden encontrar en el DNV; Part 3 chapter 4.

$$P_{ext} = P_{est} + P_w = 80.28 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.2.1.1 Presión estática del costado sumergido

Se procede a calcular la presión del exterior del costado sumergido.

$$P_{est \text{ costado mojado}} = \rho * g * (Tsc - z)$$

$$P_{est \text{ costado mojado}} = 117.14 \text{ kN/m}^2$$

- $Z=4$

#### 4.2.1.2 Presión dinámica del costado sumergido

Para la presión dinámica se aplica lo siguiente:



$$P_w = \max[-PHS; pg * (z - Tlc)] = -36.86 \text{ kN/m}^2$$

$$PHS = 36.86 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho * g * (z - Tlc) = -117.14 \text{ kN/m}^2$$

Donde :

$$P_{HS} = C_{fT} f_{ps} f_{nl} f_h k_a k_p f_{yz} C_w \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

$$C_{fT} = f_T + 0.5 - (0.7f_T - 0.2)C_B$$

$f_{nl}$  = coefficient considering non-linear effects, to be taken as:

for extreme sea loads design load scenario:

$$f_{nl} = 0.7 \text{ at } f_{xL} = 0$$

$$f_{nl} = 0.9 \text{ at } f_{xL} = 0.3$$

$$f_{nl} = 0.9 \text{ at } f_{xL} = 0.7$$

$$f_{nl} = 0.6 \text{ at } f_{xL} = 1$$

for ballast water exchange design load scenario:

$$f_{nl} = 0.85 \text{ at } f_{xL} = 0$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.3$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.7$$

$$f_{nl} = 0.80 \text{ at } f_{xL} = 1.$$

Intermediate values are obtained by linear interpolation

$f_{yz}$  = girth distribution coefficient, to be taken as:

$$f_{yz} = C_x \cdot \frac{z}{T_{LC}} + (2 - C_x)f_{yB} + 1$$

$C_x$  = coefficient to be taken as:

$$C_x = 1.5 - \frac{|x - 0.5L|}{L}$$

$f_h$  = coefficient to be taken as:

$$f_h = 3.0(1.21 - 0.66f_T)$$

$k_a$  = amplitude coefficient in the longitudinal direction of the ship, to be taken as:

$$k_a = (0.5 + f_T) \left[ (3 - 2\sqrt{f_{yB}}) - \frac{20}{9} f_{xL} (7 - 6\sqrt{f_{yB}}) \right] + \frac{2}{3} (1 - f_T) \quad \text{for } f_{xL} < 0.15$$

$$k_a = 1.0 \quad \text{for } 0.15 \leq f_{xL} < 0.7$$

$$k_a = 1 + (f_{xL} - 0.7) \left\{ \left( \frac{40}{3} f_T - 5 \right) + 2(1 - f_{yB}) \left[ \frac{18}{C_B} f_T (f_{xL} - 0.7) - 0.25(2 - f_T) \right] \right\} \quad \text{for } f_{xL} \geq 0.7$$

$$\rightarrow f_{yz} = 1.64$$

$\rightarrow C_b$  = coeficiente de bloque determinado para el escantillonado.

$$\rightarrow f_{yb} = 0.526$$

$$\rightarrow f_h = 1.65$$

$$\rightarrow C_x = 1.5$$

$$\rightarrow C_{ft} = 1.1095$$

## 4.2.2 Espesor del costado

Nuevamente se tendrá que verificar con el espesor mínimo y mediante el requerimiento especial para el costado, además también habrá que comparar las diferencias de espesor dependiendo de si este está sumergido o no. Luego se escogerá el mayor valor de todos ellos.

#### 4.2.2.1 Espesor costado sobre la flotación

A continuación, se muestran las diferentes operaciones realizadas:

$$t_{\text{costado sobre la flotación}}^{\text{mínimo}} = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t_{\text{costado}}^{\text{mínimo}} = 10,34 \text{ mm}$$

Donde,

- a=4.5
- b=0.025
- k=1
- L=L escantillonado

#### 4.2.2.2 Espesor de costado sumergido

$$t_{\text{costado sumergido}}^{\text{mínimo}} = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t_{\text{costado sumergido}}^{\text{mínimo}} = 12,77 \text{ mm}$$

Donde,

- a=4.5
- b=0.035
- k=1
- L= eslora de escantillonado

#### 4.2.2.3 El espesor requerido por el hecho de ser costado

$$t_{\text{costado}}^{\text{requerido}} = 0.0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$

$$t_{\text{costado}}^{\text{requerido}} = 8.6 \text{ mm}$$

Donde el valor de los parámetros es el mismo que en los apartados anteriores.

**Por tanto se escoge el de mayor valor que en este caso es,**

$$t_{\text{costado}} = 12.77 \approx 13 \text{ mm}$$

### 4.2.3 Longitudinales del forro( perfil comercial)

#### 4.2.3.1 Módulo de los longitudinales del costado (perfil comercial)

$$Z = \frac{f_u * |P| * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eh}}$$

$$Z = 185,55 \text{ cm}^3$$

Donde,

- Cs=0,6
- Lbdg=2,25

- $F_{bdg}=12$
- $Re_h=235$  debido al acero naval escogido
- $f_u=1,03$
- $s=750$  separación de los refuerzos longitudinales en mm
- 

Por tanto se escogerá un perfil de llanta bulbo de 200x9 con un módulo de 225 cm<sup>3</sup>

#### 4.2.4 Espesor de los refuerzos primarios del forro

El espesor mínimo de los refuerzos primarios en mm, no debería ser menor que,

$$t_w = \frac{C_m * f_{shr} * |P| * s * l_{shr}}{d_{shr} * C_t * \tau_{eh}} = 4,34 \text{ mm}$$

Donde,

- $f_{shr}$  es un factor de distribución de fuerza cortante, en este caso,

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
$f_{shr}$	0.5	0.4	0.7	0.5

- $C_t$ , coeficiente de la fuerza cortante, para el caso en el que estamos evaluando al buque proyecto,

Acceptance criteria	Structural member	$C_t$
AC-I	All stiffeners	0.75

- $L_{shr}$  longitud efectiva del refuerzo

$$l_{shr} = 748,8 \text{ mm}$$

- $D_{shr}$  grosor del refuerzo, que es la suma de  $c+t$  en el anexo de perfiles, del perfil escogido, en este caso vale 51.
- $\tau_{eh} = \frac{Re}{\sqrt{3}} = 135,67$
- $C_m$  es el coeficiente de las fuerzas axiales, cortante y momento de flexión, en este caso tiene valor 1

$$0.71 \left( 1 - \left( \frac{0.75}{C_{xt}} \cdot \frac{Z}{Z_a} \right)^{e_0} \right)^{-\frac{1}{e_0}}, \text{ not less than 1 in other cases}$$

$$C_m = 1,5$$

- $C_{xt}$  puede variar entre estos valores dependiendo del valor del coeficiente  $C_s$ , con un valor de 0.85

$$C_{st} = 0.5 \text{ for } C_s \leq 0.5$$

$$= C_s \text{ for } 0.5 < C_s < 0.95$$

$$= 0.95 \text{ for } C_s \geq 0.95$$

- $C_s$  es el coeficiente del momento de torsión permitido,

$$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$C_s = 0.85$$

Acceptance criteria	Structural member	$\beta_s$	$\alpha_s$	$C_{s-max}$
AC-I	Longitudinal members	0.95	1.00	0.85

- $e_0$  tiene un valor de, siendo  $t_{wa}=11$  mm,  $h_w=280$  mm,  $R_{eH}= 235$

$$e_0 = e_0 = 9.23 \left( \frac{h_w}{t_{wa}} \sqrt{R_{eH}} \right)^{-0.25}$$

$$e_0 = 2$$

- $C_{xt} = 0.52 * C_{st} + 0.56 = 1$

Por tanto el valor de el espesor del refuerzo primario con marge es de :

$$t_{refuerzo\ primario} = 5 \text{ mm}$$

## 4.3 Estructura de cubierta

### 4.3.1 Presión en cubierta

La presión de cubierta se determina de la siguiente manera:

$$Pd = \max(Pd \text{ min}, Pwd - \rho g * (z - z_{dk})) = 34.3 \text{ kN/m}^2$$

$$\rightarrow Pd \text{ min} = 34.3 \text{ KM/m}^2$$

$$\rightarrow Pwd - \rho g * (z - z_{dk}) = 0$$

Donde

- $Z=21$  m altura de la cubierta para la que se hacen los cálculos.
- $Z_{dk}=21$ m altura de la cubierta principal.
- $Pwd=0$ , como se establece en Pt.3, Ch4.

Se adjunta extracto de la presión mínima en cubierta expuesta:

**Table 31 Minimum pressures on exposed decks for HSM, HSA, FSM load cases**

Location	Minimum pressure on exposed freeboard deck, $P_{D-minor}$ in $kN/m^2$	
	$L_{LL} \geq 100\ m$	$L_{LL} < 100\ m$
$\frac{x_{LL}}{L_{LL}} \leq 0.75$	34.3	$14.9 + 0.195 L_{LL}$
$\frac{x_{LL}}{L_{LL}} > 0.75$	$34.3 + [14.8 + a(L_{LL} - 100)] \left( 4 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 3 \right)$	$12.2 + \frac{L_{LL}}{9} \left( 5 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 2 \right) + 3.6 \frac{x_{LL}}{L_{LL}}$
where: $a$ = coefficient taken equal to: $a = 0.356$ for type A, type B-60 and type B-100 freeboard ships $a = 0.0726$ for type B freeboard ships $x_{LL}$ = X-coordinate of the load point measured from the aft end of the freeboard length $L_{LL}$ .		

### 4.3.2 Espesor de la chapa de cubierta

1. El espesor mínimo será tal que:

$$t_{cubierta\ m\acute{in}imo} = a + b * L * \sqrt{k}$$

$$t_{cubierta\ m\acute{in}imo} = 9,17\ mm$$

Donde:

- $a=4.5$
- $b=0.02$
- $k=1$
- $L$ = eslora de escantillonado

2. El espesor requerido por el hecho de ser cubierta es el siguiente:

$$t_{cubierta\ requisito} = 0,0158 * \alpha_p * b * \sqrt{\frac{|P|}{C_a * R_{eh}}}$$

$$t_{cubierta\ requisito} = 5,06\ mm$$

Donde:

$$\beta = 0,80$$

$$\alpha = 1$$

$$C_a = 0,8$$

$$R_{eh} = 235$$

$b$ = separación entre refuerzos 750 mm

Por tanto se escoge el espesor mayor de los dos obtenidos, en este caso:

$$t_{cubierta} = 9\ mm$$

### 4.3.3 Espesor traca de trancanil

$$t = \frac{t_{\text{costado}} + t_{\text{cubierta}}}{2}$$

$$t = \frac{13 + 9}{2} = \mathbf{11 \text{ mm}}$$

→  $t_{\text{costado}} = 13 \text{ mm}$

→  $t_{\text{cubierta}} = 9 \text{ mm}$

### 4.3.4 Longitudinales de la cubierta (perfil comercial)

#### 4.3.4.1 Módulo de los longitudinales del costado (perfil comercial)

$$Z = \frac{f_u * |P| * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eh}}$$

$$Z = \mathbf{79,27 \text{ cm}^3}$$

Donde:

$C_s=0,6$

$L_{bdg}=2,25$

$F_{bdg}=12$

$R_{eh}=235$

$f_u=1,03$

$s=750 \text{ mm}$

**Por tanto se cogerá una llanta de bulbo de 140x 7 con un módulo de 80 cm<sup>3</sup>**

### 4.3.5 Espesor de refuerzos primarios cubierta

El espesor mínimo de los refuerzos primarios en mm, no debería ser menor que,

$$t_w = \frac{C_m * f_{shr} * |P| * s * l_{shr}}{d_{shr} * C_t * \tau_{eh}} = 2,49 \text{ mm}$$

Donde,

- $f_{shr}$  es un factor de distribución de fuerza cortante, en este caso,

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
$f_{shr}$	0.5	0.4	0.7	0.5

- $C_t$ , coeficiente de la fuerza cortante, para el caso en el que estamos evaluando al buque proyecto,

<i>Acceptance criteria</i>	<i>Structural member</i>	$C_t$
AC-I	All stiffeners	0.75

- $L_{shr}$  longitud efectiva del refuerzo

$$l_{shr} = 748,8 \text{ mm}$$

- $D_{shr}$  grosor del refuerzo, que es la suma de c+t en el anexo de perfiles, del perfil escogido, en este caso vale 38.
- $\tau_{eh} = \frac{Reh}{\sqrt{3}} = 135,67$
- $C_m$  es el coeficiente de las fuerzas axiales, cortante y momento de flexión, en este caso tiene valor 1

$$0.71 \left( 1 - \left( \frac{0.75}{C_{xt}} \cdot \frac{Z}{Z_a} \right)^{e_0} \right)^{-\frac{1}{e_0}}, \text{ not less than 1 in other cases}$$

$$C_m = 1,5$$

- $C_{xt}$  puede variar entre estos valores dependiendo del valor del coeficiente  $C_s$ , con un valor de 0.85

$$\begin{aligned} C_{st} &= 0.5 \text{ for } C_s \leq 0.5 \\ &= C_s \text{ for } 0.5 < C_s < 0.95 \\ &= 0.95 \text{ for } C_s \geq 0.95 \end{aligned}$$

- $C_s$  es el coeficiente del momento de torsión permitido,

$$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$C_s = 0.85$$

<i>Acceptance criteria</i>	<i>Structural member</i>	$\beta_s$	$\alpha_s$	$C_{s-max}$
AC-I	Longitudinal members	0.95	1.00	0.85

- $e_0$  tiene un valor de, siendo  $t_{wa}=12$  mm,  $h_w=340$  mm (estos valores se calculan en el perfil comercial en el apartado siguiente)  $Reh= 235$

$$e_0 = 9.23 \left( \frac{h_w}{t_{wa}} \sqrt{R_{eH}} \right)^{-0.25}$$

$$e_0 = 2$$

- $C_{xt} = 0.52 * C_{st} + 0.56 = 1$

Se escoge el valor máximo de los dos valores de este apartado con margen es de:

$$t_{\text{refuerzo primario}} = 3 \text{ mm}$$

## 4.4 Estructura Mamparos

### 4.4.1 Presión del mamparo

A continuación se desarrolla el cálculo para las presiones locales del mamparo

$$P = P_{int} = P_{ls} + P_{td} = 218,63 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ls} = \rho * g * (z_{top} - z) + P_{drop}$$

$$P_{ls} \text{ df} = 188,53 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ld} = f_{cd} * (a_z(z_0 - z) + full * a_x * (x_0 - x) + full * a_y * (y_0 - y))$$

$$p_{ld} = 30,96 \text{ KN/m}^2$$

Donde,

- $Z_{top}$  es la altura máxima del mamparo que será igual a 21
- $Z$  es la altura desde donde se toma la referencia, es igual a 2,25 (coincidiendo con la altura del doble fondo).
- $\rho = 1,025$  del agua salada
- $P_{drop}=0$ , ya que el tanque no va a rebosar
- $g=9,81$  m/s

Se calculan de la manera siguiente, como ya se ha explicado en el apartado del "Doble fondo":

### 3.2 Accelerations for dynamic load cases

#### 3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in  $\text{m/s}^2$ , shall be taken as:

$$a_x = f_{\beta} \left[ (-C_{XG} g \sin \varphi) + C_{XS} a_{surge} + C_{XP} a_{pitch}(z - R) \right]$$

#### 3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in  $\text{m/s}^2$ , shall be taken as:

$$a_y = f_{\beta} \left[ C_{YG} g \sin \theta + C_{YS} a_{sway} - C_{YR} a_{roll}(z - R) \right]$$

#### 3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in  $\text{m/s}^2$ , shall be taken as:

$$a_z = f_{\beta} \left[ C_{ZH} a_{heave} + C_{ZR} a_{roll} y - C_{ZP} a_{pitch}(x - 0.45L) \right]$$

- $a_z=1,73$
- $a_x=-0,663$
- $a_y=0$
- $full= 0,62$

Estos valores se han cogido de manera arbitraria

- $y=y_0=0$
- $z_0=21$  m
- $z= 2,25$  m
- $x_0= 103,5$  m



- $x=100$  m

**Por tanto escogeremos un espesor de 12 mm.**

#### 4.4.2 Mamparo corrugado

Para el cálculo del mamparo corrugado se utilizará la siguiente fórmula aportado por el reglamento:

$$t_{\text{mamparo corrugado}} = 0,0158 * b_p * \sqrt{\frac{|P|}{C_{cb} * Reh}}$$

$$t_{\text{mamparo corrugado con a}} = 12,9 \text{ mm}$$

$$t_{\text{mamparo corrugado con b}} = 17,1 \text{ mm}$$

Donde,

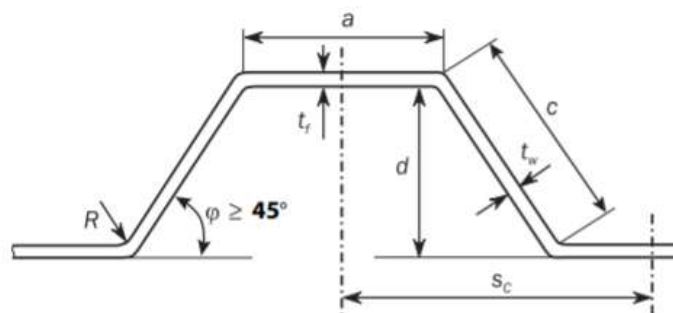
- $C_{cb}$  es el coeficiente de torsión para un mamparo corrugado y tiene un valor de 0,9

$C_{CB}$  = permissible bending stress coefficient for corrugated bulkhead plating taken equal to:

$$C_{CB} = \beta_{CB} - \alpha_{CB} \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{\sigma H}} \quad \text{not to be greater than } C_{CB-max}$$

Other corrugated bulkheads	0.90	0.00	0.90
----------------------------	------	------	------

- $B_p$  es la manga de la chapa del mamparo corrugado, Part 3, capítulo 3 ,sección 6 del DNV.



$$\rightarrow a = 800 \text{ mm}$$

$$\rightarrow c = 1020 \text{ mm}$$

**Por tanto se escoge el valor mayor de los dos obtenidos en función de los valores de a y c.**

$$t_{\text{mamparo corrugado}} = 17 \text{ mm}$$

#### 4.4.3 Longitudinal del mamparo corrugado (perfil comercial)

##### 4.4.3.1 Modulo mínimo

$$Z = \frac{|P| * s_c * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * \sigma_{cx}}$$

$$Z = 703,72 \text{ kN/m}^2$$

Donde,

- P es la presión calculada al principio de este apartado
- Sc es la mitad de la longitud del paso, que en este caso se establece como 400 mm
- $L_{bdg}$  es la longitud efectiva de torsión = 2,25 m
- $F_{bdf}$  factor del momento torsor = 12
- Cs coeficiente de torsión permisible, tiene valor de 0,75
- $\sigma_{cxt} = 70,5 \text{ n/mm}^2$

**Se escoge por tanto un perfil comercial de 300x13 con un módulo de 728 cm<sup>3</sup>**

#### ***4.4.4 Mamparo transversal estanco***

Se calcula mediante la siguiente fórmula,

$$t = a + b * L * \sqrt{k} = 6,8 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

Donde,

- a=4.5
- b= 0.01
- k=1

$$t \text{ mamparo estanco} = 7 \text{ mm}$$

## 5 CÁLCULO DEL MÓDULO Y DE LA INERCIA

Una vez conocidos los escantillonados de la cuaderna maestra y su disposición s necesario realizar el cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra. Para esto, hay que tener en cuenta aquellos elementos que participan en la resistencia longitudinal.

Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

- Inercia Propia

$$I_0 = \frac{1}{12} * Area * h$$

- Posición del eje neutro

$$Y_f = (\sum A * Z_g) / \sum A$$

- Inercia Sección maestra

$$I = I_0 + \sum A * y^2 - \sum A * Y_f^2$$

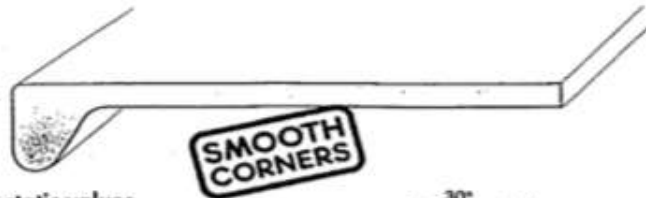
### 5.1 Tabla resumen de los resultados obtenidos

RESULTADOS OBTENIDOS	
Eje neutro	947,95 cm
Inercia de la sección maestra final	358,57 m <sup>4</sup>
Inercia de la sección estimada	261,22 m <sup>4</sup>

## 6 ANEXO I

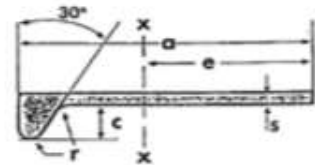
### 6.1 Perfiles catálogo

#### Bulb Flats



Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm <sup>2</sup>	Weight kg/m	e cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> * cm <sup>3</sup>
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.3	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	225
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	237
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	255
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	302
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	323
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	368
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	391
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	406
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2477	455
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	474
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	493
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	566
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3590	590
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	671
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	701
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	728
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	819
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	849
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	947
	14	49	15	65.3	51.5	21.1	7540	1014
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1210
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1278
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1580
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1666
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1935
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18660	2036



Standard lengths

6-18 m.

Other lengths by special agreement

Orders

must include the following measurements:  
a x s.

Plate cross sectional area 60 cm<sup>2</sup>

Plate cross sectional area 100 cm<sup>2</sup>

Plate cross sectional area 150 cm<sup>2</sup>

\* Inclusive plate as noted

**INEXA PROFIL**

### 6.2 Tabla de inercias

Elemento	ud	Y cm	t cm	A (Cm^2)	zg desde LB	A*ZG	A*Zg^2	Ip (cm^3)		
<b>Quilla</b>	1	220	1,75	385	1,25	481,25	601,56	220,00		
<b>fondo</b>	14	220	1,3	4004	1,1	4404,4	4844,84	275,00		
<b>doble fondo</b>	14	240	1,2	4032	225	907200	204120000,00	8400,00		
<b>Pantoque</b>	2	0	0	900	10,76	13180	104199,84	2317085		
<b>chapa Cubierta</b>	14	220	1,3	4004	2100	8408400	17657640000,	73406,67		
<b>chapa costado</b>		Altura 1	1	220	1,3	286	400	114400	45760000,00	5243,33
		Altura 2	1	220	1,3	286	620	177320	109938400,00	5243,33
		Altura 3	1	220	1,3	286	840	240240	201801600,00	5243,33
		Altura 4	1	220	1,3	286	1060	303160	321349600,00	5243,33
		Altura 5	1	220	1,3	286	1280	366080	468582400,00	5243,33
		Altura 6	1	220	1,3	286	1500	429000	643500000,00	5243,33
		Altura 7	1	220	1,3	286	1720	491920	846102400,00	5243,33
		Altura 8	1	220	1,3	286	1940	554840	1076389600,00	5243,33
<b>Tolva inferior</b>	2	200	1,2	240	133,3	31992	4264533,60	4000,00		
<b>Tolva sup</b>	2	140	0,3	140	1790,6	481684	1657281970,40	23508,33		
<b>Vagras</b>	1	220	1,25	275	225	515625	966796875,00	5041,67		
	9	220	1,15	2277	225	512325	28818281,25	41745,00		
<b>refuerzo primario fondo</b>	12	220	0,95	209	1,25	261,25	326,56	3831,67		
<b>refuerzo primario df</b>	14	240	0,95	228	225	51300	11542500,00	4560,00		
<b>refuerzo primario cubierta</b>	12	140	0,7	1176	2100	2469600	5186160000,00	13720,00		
<b>traca trancañil</b>	2	220	1,1	242	2100	508200	1067220000,00	4436,67		
<b>chapa mamparo</b>		altura 1	1	220	1,7	374	400	149600	59840000,00	6856,67
		altura 2	1	220	1,7	374	620	231880	143765600,00	6856,67
		altura 3	1	220	1,7	374	840	314160	263894400,00	6856,67
		altura 4	1	220	1,7	374	1060	396440	420226400,00	6856,67

CUADERNO 8: CUADERNA MAESTRA

Sofía Fraga Ludeiro

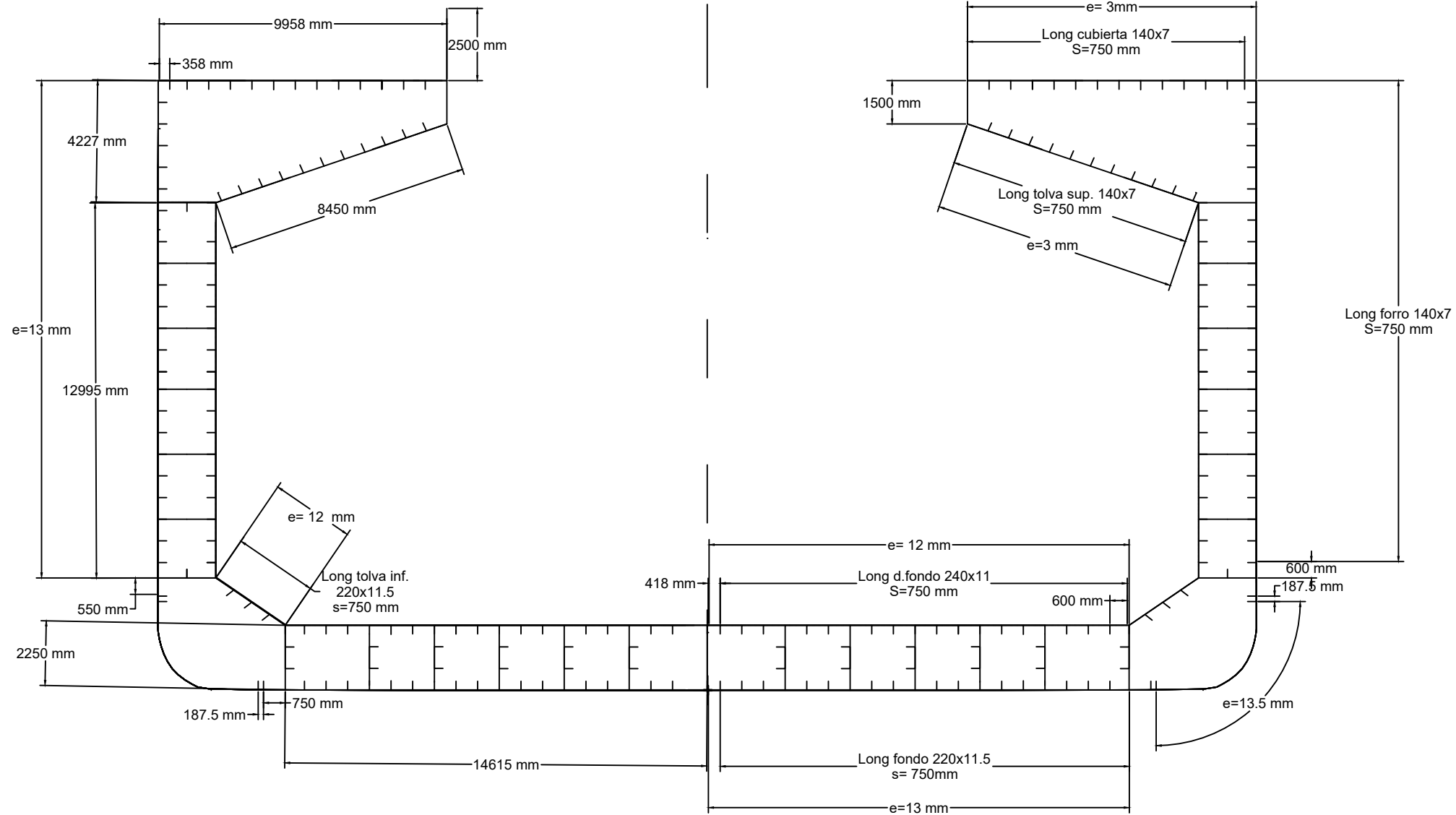
Bulkcarrier 100 000 TPM

	altura 5	1	220	1,7	374	1280	478720	612761600,00	6856,67
	altura 6	1	220	1,7	374	1500	561000	841500000,00	6856,67
	altura 7	1	220	1,7	374	1720	643280	1106441600,00	6856,67
	altura 8	1	220	1,7	374	1940	725560	1407586400,00	6856,67
	Longitudinales de d. fondo	20	240x11		698	225	157050	35336250,00	40000,00
	longitudinales fondo	20	220x11,5		658	25	16450	411250,00	31000,00
<b>Longitudinales del costado</b>	altura 1	1	140x7		23,6	400	9440	3776000,00	241,00
	altura 2	1			23,6	475	11210	5324750,00	241,00
	altura 3	1			23,6	550	12980	7139000,00	241,00
	altura 4	1			23,6	625	14750	9218750,00	241,00
	altura 5	1			23,6	700	16520	11564000,00	241,00
	altura 6	1			23,6	775	18290	14174750,00	241,00
	altura 7	1			23,6	850	20060	17051000,00	241,00
	altura 8	1			23,6	925	21830	20192750,00	241,00
	altura 9	1			23,6	1000	23600	23600000,00	241,00
	altura 10	1			23,6	1075	25370	27272750,00	241,00
	altura 11	1			23,6	1150	27140	31211000,00	241,00
	altura 12	1			23,6	1225	28910	35414750,00	241,00
	altura 13	1			23,6	1300	30680	39884000,00	241,00
	altura 14	1			23,6	1375	32450	44618750,00	241,00
	altura 15	1			23,6	1450	34220	49619000,00	241,00
	altura 16	1			23,6	1525	35990	54884750,00	241,00
	altura 17	1			23,6	1600	37760	60416000,00	241,00
	altura 18	1			23,6	1675	39530	66212750,00	241,00
	longitudinales de cubierta	26	140x7		322,4	20500	6609200	1421784000,00	24466,00
<b>Longitudinales tolva</b>	altura 1	2	140x7		64,8	2100	136080	109343584,80	482,00

<b>superior</b>									
	altura 2	2			64,8	1880	121824	229029120,00	482,00
<b>longitudinales tolva inferior</b>		2	220x11,5		64,8	250	16200	4050000,00	646,00
<b>tolva inclinada alta</b>		2	140	0,7	196	1856	363776	675168256,00	2286,67
<b>tolva inclinada baja</b>		2	220	11,5	5060	275	1391500	382662500,00	458,33
<b>Total</b>					30945,6		29335062,9	38350091343,86	2660452,33
			Eje neutro	947,9558	cm				
			Inercia Sección	358,5743	m <sup>4</sup>				

## **7 ANEXO II: PLANO CUADERNA MAESTRA**





GRADO EN INGENIERÍA  
NAVAL Y OCEÁNICA

**BUQUE BULKARRIER 100000 D.W.T**

ESCALA: **1:250**      Nº PROYECTO:      Nº PLANO:      FECHA: **Abril del 2020**

TÍTULO: **CUADERNA MAESTRA**

AUTOR: **SOFÍA FRAGA LUDEIRO**      FIRMA:

ESCUOLA POLITÉCNICA SUPERIOR DE FERROL