



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2020/21

***BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA***

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Miguel Ángel Rodríguez González

TUTOR

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

Septiembre 2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

*BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 8

“CUADERNA MAESTRA”

ÍNDICE

1 RPA.....	5
2 Resumen	6
2.1 Castellano.....	6
2.2 Gallego	6
2.3 Inglés	6
3 Introducción.....	5
4 Parámetros de Diseño	8
4.1 Consideraciones Iniciales	8
4.2 Definición de los parámetros.....	8
4.2.1 Eslora de escantillonado	8
4.2.2 Manga de escantillonado.....	9
4.2.3 Puntal de escantillonado	9
4.2.4 Calado de escantillonado.....	9
4.2.5 Coeficiente de Bloque.....	9
4.2.6 Espacio entre cuadernas y bulárcamas	10
5 Módulo resistente y momento de inercia de la cuaderna maestra.....	11
5.1 Módulo resistente.....	11
5.2 Módulo requerido.....	12
5.3 Momento de inercia	14
6 Escantillonado de la cuaderna	15
6.1 Materiales	15
6.2 Escantillonado del fondo	15
6.2.1 Altura del doble fondo.....	15
6.2.2 Presiones del fondo	16
6.2.3 Plancha del fondo	19
6.2.4 Traca de pantoque.....	20
6.2.5 Quilla	22
6.2.6 Longitudinales del fondo	22
6.3 Escantillonado de doble fondo	23
6.3.1 Plancha del doble fondo	23
6.3.2 Longitudinales del doble fondo	26
6.3.3 Vagras estancas.....	27
6.3.4 Vagras no estancas	28
6.3.5 Varengas	29
6.4 Escantillonado de la cubierta	29
6.4.1 Presión en cubierta	29
6.4.2 Plancha de la cubierta resistente.....	30
6.4.3 Longitudinales de la cubierta resistente.....	31
6.4.4 Brazola de escotilla	31
6.4.5 Longitudinales de las brazolas	32

6.5 Escantillonado del costado	33
6.5.1 Presión del costado sumergido	33
6.5.2 Planchas del forro exterior sobre la flotación	36
6.5.3 Planchas del forro exterior sumergido	37
6.5.4 Traca de trancanil	38
6.5.5 Planchas del forro interior	38
6.5.6 Longitudinales del forro exterior	39
6.5.7 Longitudinales del forro interior	40
6.5.8 Bulárcamas.....	41
6.5.9 Palmejares.....	42
6.6 Escantillonado de los mamparos	42
6.6.1 Planchas del mamparo transversal.....	42
6.6.2 Refuerzos mamparo transversal.....	43
6.6.3 Mamparo transversal estanco	44
7 Resumen del escantillonado	45
8 Cálculo del módulo y de la inercia	47
9 Anexo I: Catálogo de perfiles tipo bulbo	52
Anexo II: Plano de Cuaderna Maestra	53

1 RPA



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

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: Portacontenedores con ruta Asia-Norte de Europa.

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 20000 TEUS

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 20 nudos en condiciones de servicio y 20000 millas de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Sin medios propios de carga/descarga.

PROPULSIÓN: Motor Diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 40 tripulantes en camarotes dobles e individuales.

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

Ferrol, 4 Octubre 2020

ALUMNO/A: D Miguel Ángel Rodríguez González

2 RESUMEN

2.1 Castellano

La finalidad del presente Trabajo Fin de Grado es el dimensionamiento y definición de un buque portacontenedores, cumpliendo con la RPA establecida. Una de las principales características es que es un buque de carga normalizada y que ha de transportar 20000 TEUS, lo cual afecta a las dimensiones del mismo. Este portacontenedores será diseñado para dar servicio a la ruta Asia – Norte de Europa, por lo que ha de tener una autonomía que le permita realizar un trayecto de unas 20000 millas.

2.2 Gallego

A finalidade do presente Traballo de Fin de Grao é o dimensionamento e definición dun buque portacontenedores, cumprindo co establecido na RPA. Unha das principais características é que é un buque de carga normalizada e que transporta 20000 TEUS, o cal afecta as dimensións do mesmo. Este portacontenedores deseñarase para dar servizo a ruta Asia – Norte de Europa, polo que terá unha autonomía que permita realizar o traxecto dunhas 20000 millas.

2.3 Inglés

The purpose of this Final Degree Project is the dimensioning and definition of a container ship, complying with the established RPA. One of the main characteristics is that it is a standardized cargo ship and that it has to transport 20000 TEUS, which affects its dimensions. This container ship will be designed to serve the Asia - North Europe route, so it must have an autonomy that allows it to cover a journey of about 20000 miles.

3 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se desarrolla el diseño de la cuaderna maestra del buque proyecto mediante el cálculo de la resistencia longitudinal.

Las dimensiones y coeficientes principales son los que se muestran a continuación, las cuales, se han obtenido del cuaderno 3 "Coeficientes y Planos de Formas".

TEUS TOTALES	20000 TEUS
TEUS BODEGA	8518 TEUS
TEUS CUBIERTA	11481 TEUS
ESLORA TOTAL (Loa)	399,8 m.
ESLORA PERPENDICULARES (Lpp)	382,4 m.
MANGA (B)	58 m.
PUNTAL (D)	32 m.
CALADO (T)	16,5 m.
DESPLAZAMIENTO (Δ)	299292 ton
VELOCIDAD (V)	20 kn

Nº DE FROUD	0,1698
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,797
COEFICIENTE DE LA MAESTRA	0,994
COEFICIENTE PRISMÁTICO	0,887

4 PARÁMETROS DE DISEÑO

4.1 Consideraciones Iniciales

La definición de los parámetros de diseño requeridos para la realización de este cuaderno, tal y como se especifica en la RPA, se ha efectuado según el reglamento de la sociedad de clasificación Det Norske Veritas (DNV).

La zona de carga debe estar limitada en el costado y en el doble fondo por tanques de lastre o espacios vacíos que comprenden el doble fondo y el doble casco, cumpliendo los valores mínimos impuestos por el MARPOL.

El buque proyecto presenta una eslora que supera los 100 metros, por lo que, como diseñador se elegirá una estructura longitudinal en fondo, doble fondo y cubierta, de acuerdo a lo establecido en el DNV y tomando como referencia la estructura del buque base. Este tipo de estructura soporta mejor los esfuerzos a flexión del buque-viga, y contribuye a minimizar el peso del acero.

4.2 Definición de los parámetros

Los cálculos necesarios para definir los parámetros reglamentarios del buque se encuentran en el DNV Pt.3 Ch.1 Sec.1 y se muestran a continuación:

4.2.1 Eslora de escantillonado

L_F es la eslora definida en el convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966.

Dicha eslora será la tomada como el 96% de la eslora total a un calado igual al 85% del puntal medido desde el canto alto de la quilla, o la distancia medida desde la cara proel de la mecha del timón si ésta fuese mayor.

$$\max \left\{ \begin{array}{l} 0,96 * L_{wl} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 0,97 * L_{wl} \\ L_{PP} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Siendo:

- $L_{PP} = 382,4 \text{ m}$
- $L_{wl} = 383 \text{ m}$

$$\max \left\{ \begin{array}{l} 0,96 * 83 = 367,7 \text{ m} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 0,97 * 383 = 371,5 \text{ m} \\ L_{PP} = 382,4 \text{ m} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Por tanto, la eslora de escantillonado resulta ser:

$$L_{sc} = 371,5 \text{ m}$$

4.2.2 Manga de escantillonado

Se corresponde con la manga de trazado.

$$B_{sc} = 58 \text{ m}$$

4.2.3 Puntal de escantillonado

El puntal D es la distancia medida en el costado, desde la línea de base hasta la cubierta continua más alta. Así pues, el puntal será;

$$D = 32 \text{ m}$$

4.2.4 Calado de escantillonado

Calado de verano en metros.

$$T_{sc} = 16,5 \text{ m}$$

4.2.5 Coeficiente de Bloque

El coeficiente de bloque se calcula mediante:

$$C_b = \frac{\Delta}{1,025 \cdot L_{sc} \cdot B_{sc} \cdot T_{sc}}$$

Siendo:

$\Delta = 299292$ ton (desplazamiento en líneas de carga de verano)

$B_{sc} = 58 \text{ m}$ (manga en la línea de carga de verano)

$T_{sc} = 16,5 \text{ m}$ (calado de escantillonado)

$L_{sc} = 368 \text{ m}$ (eslora de escantillonado)

Por lo que el coeficiente de bloque quedaría:

$$C_b = \frac{\Delta}{1,025 \cdot L_{sc} \cdot B_{sc} \cdot T_{sc}} = \frac{299292}{1,025 \cdot 371,5 \cdot 58 \cdot 16,5}$$

$$C_b = 0,821$$

4.2.6 Espacio entre cuadernas y bulárcamas

Tal y como se estableció en el cuaderno 4, la separación de cuadernas será de 750 mm en las zonas del cuerpo cilíndrico, mientras que tanto en las zonas de proa y popa la separación pasará a ser de 600 mm. En cuanto a las bulárcamas, irán separadas 3 claras de cuadernas, o lo que es lo mismo 2250 mm.

Además para los cálculos que se realizan a lo largo de este cuaderno, se define “s” como el espaciado entre refuerzos secundarios, siendo su valor para las diferentes zonas:

	Separación de refuerzos secundarios, s
CUBIERTA	775
CAJÓN DE TORSIÓN	775
COSTADO	880
DOBLE FONDO	830
FONDO	830
BRAZOLA	1150
VAGRAS	1000

5 MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA DE LA CUADERNA MAESTRA.

5.1 Módulo resistente

Para que la cuaderna maestra cumpla con los requisitos correspondientes a la resistencia longitudinal, será necesario realizar el cálculo del módulo resistente mínimo, el cual viene definido por el reglamento DNV

$$Z_0 = \frac{C_{wo}}{f_1} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$

Siendo:

- $C_{wo} = 10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{3/2}$ (Para $350 < L < 500$) [Part 3, Chapter 4, Section 4]
- $f_1 = 1$, es un factor dependiente del tipo de acero
- L: eslora de escantillado
- B: es la manga de escantillado.
- C_B : coeficiente de bloque del buque.

Por tanto:

$$C_{wo} = 10,75 - \left(\frac{L - 350}{150}\right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{371,5 - 350}{150}\right)^{1,5} = 10,7$$

Sustituyendo en la ecuación del módulo resistente:

$$Z_0 = \frac{C_{wo}}{f_1} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$
$$Z_0 = \frac{10,7}{1} \cdot 371,5^2 \cdot 58 \cdot (0,821 + 0,7) = 130274262 \text{ cm}^3$$

$$Z_0 = 130274262 \text{ cm}^3$$

Por tanto, el valor del módulo del buque en su condición más restrictiva tiene que ser mayor que el módulo mínimo obtenido anteriormente.

5.2 Módulo requerido

El módulo requerido se calcula mediante la siguiente expresión obtenida del DNV:

$$Z_0 = \frac{|M_S + M_W|}{\sigma_l} \cdot 10^3$$

Siendo:

- $\sigma_l = 175 \cdot f_1 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_l = 125 \cdot f_1 \text{ N/mm}^2$
- M_S : es el momento máximo en aguas tranquilas
- M_W : es el máximo en olas

Los momentos M_S vienen definidos por las siguientes expresiones

- Para la situación de arrufo:

$$M_{Sarrufo} = -0,065 \cdot C_{wu} \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$

$$M_{Sarrufo} = -0,065 \cdot 10,7 \cdot 371,5^2 \cdot 58 \cdot (0,821 + 0,7)$$

$$M_{Sarrufo} = -8467827,028 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Para la situación de quebranto:

$$M_{Squebranto} = C_{wu} \cdot L^2 \cdot B \cdot (0,122 - 0,015 \cdot C_B)$$

$$M_{Squebranto} = 10,7 \cdot 371,5^2 \cdot 58 \cdot (0,122 - 0,015 \cdot 0,821)$$

$$M_{Squebranto} = 9394564,383 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para el momento provocado por las olas, y según lo establecido en el DNV:

- Para la situación de arrufo:

$$M_{Warrufo} = -0,19 \cdot \frac{f_r}{0,85} \cdot f_{nl-vs} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$$

- Para la situación de quebranto:

$$M_{Wquebranto} = 0,19 \cdot \frac{f_r}{0,85} \cdot f_{nl-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$$

En las dos situaciones de momentos anteriores de arrufo y quebranto provocados con las olas, los términos serán:

- C_W : calculado anteriormente habiéndose obtenido 10,7
- $f_r = 0,85$
- $f_{nl-vs} = 1$
- $f_m = 1$
- $f_p = 1$

Además del resto de términos ya calculados anteriormente.

Por tanto, sustituyendo en las expresiones anteriores de los momentos provocados por las olas:

- Para la situación de arrufo:

$$M_{Warrufo} = -0,19 \cdot \frac{0,85}{0,85} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10,7 \cdot 371,5^2 \cdot 58 \cdot 0,821$$

$$M_{Warrufo} = -13360606,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Para la situación de quebranto:

$$M_{Wquebranto} = 0,19 \cdot \frac{0,85}{0,85} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10,7 \cdot 371,5^2 \cdot 58 \cdot 0,821$$

$$M_{Wquebranto} = 13360606,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tras los cálculos preliminares el módulo requerido será tal que se den las peores situaciones de todas ellas:

$$Z_0 = \frac{[M_s + M_w]}{\sigma} \cdot 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z_0 = \frac{[9394564,383 + 13360606,26]}{175} \cdot 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z_0 = 130029546,5 \text{ cm}^3$$

Una vez escantillonada, se comprobará este valor con el real obtenido al final de este documento.

5.3 Momento de inercia

El momento de inercia se obtiene a partir de la expresión obtenida del DNV Part 3, Chapter 5, Section 2 [1.5.2]

$$I = 3 \cdot f_r \cdot C_W \cdot L^3 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-8} [m^4]$$

Donde:

- $f_r = 1$ → por ser factor restrictivo dependiendo de la zona por donde se navegue.

$$I = 3 \cdot 1 \cdot 10,7 \cdot 371,5^3 \cdot 58 \cdot (0,821 + 0,7) \cdot 10^{-8}$$

$$I = 1451,91 m^4$$

6 ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA

A lo largo de este apartado se va a realizar el escantillonado y dimensionamiento de la cuaderna maestra el buque proyecto mediante las reglas que se establecen en la sociedad de clasificación, la cual se especifica en la RPA, es decir, el DNV.

De acuerdo a cálculos realizados en cuadernos anteriores, concretamente en el cuaderno 4: "Cálculos de arquitectura naval", la separación entre cuadermas es de 750 mm, la separación de los elementos primarios transversales es de 3 claras de cuadermas, o lo que es lo mismo 2250 mm. Por último, la separación de los refuerzos longitudinales será de 750 mm.

Las separaciones se mantendrán tanto en el doble fondo, como en la cubierta, así como los longitudinales de los costados para asegurar una continuidad estructural.

6.1 Materiales

En cuanto a los materiales seleccionados para lo que se desarrolla en este cuaderno, se establecen acero normal para el fondo y doble fondo y acero de alta resistencia en cubierta y en las zonas altas del costado.

Las propiedades son:

CARACTERÍSTICAS ACERO NORMAL		
Límite elástico	235	N/mm ²
Factor de acero KL	1	

CARACTERÍSTICAS ACERO ALTA RESISTENCIA		
Límite elástico	460	N/mm ²
Factor de acero KL	0,62	

6.2 Escantillonado del fondo

6.2.1 Altura del doble fondo

El proceso de la altura del doble fondo " h_{DF} ", tiene una estructura similar al de la elección de la anchura del doble casco.

De acuerdo con el DNV, en la Part 3, Chapter 2, Section 2, se establece lo siguiente:

$$h_{DF} = 1000 \cdot \frac{B}{20} \text{ (mínimo 760 mm)}$$

Según lo establecido en el DNV, la altura máxima debe de ser como mínimo 760 mm.

$$h_{DF} = 1000 \cdot \frac{58}{20}$$

$$h_{DF} = 2900 \text{ mm}$$

Al salir el resultado mayor que 2000 mm, se establece como altura del doble fondo tal como se indica en el DNV, no será necesario que sea mayor a 2000 mm, por lo tanto:

$$h_{DF} = 2000 \text{ mm}$$

6.2.2 Presiones del fondo

Se va a considerar que P_{ex} equivale a la siguiente expresión de manera que el fondo se corresponde con $z = 0$.

$$P_{ex} = P_S + P_W$$

Siendo:

- P_S : presión estática hidrodinámica
- P_W : presión dinámica

6.2.2.1 Presión estática hidrodinámica

Según el reglamento DNV Part 3, Chapter 4, Section 5, [1.2], se establece que la presión estática hidrodinámica se calcule mediante la siguiente ecuación:

$$P_S = \rho \cdot g \cdot (T_{sc} - z)$$

$$P_S = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (16,5 - 0)$$

$$P_S = 165,91 \text{ kN/m}^2$$

6.2.2.2 Presión dinámica hidrodinámica

La presión dinámica será el máximo entre los dos valores que se calcularán a continuación, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_W = \max\{-P_{hs}; \rho \cdot g \cdot (z - T_{escantillonado})\}$$

Siendo:

$$\rho \cdot g \cdot (z - T_{escantillonado})$$

$$1,025 \cdot 9,81 \cdot (0 - 16,5)$$

$$-165,91 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hs} = C_{ft} \cdot f_{ps} \cdot f_{nl} \cdot f_h \cdot k_a \cdot k_p \cdot f_{yz} \cdot C_W \cdot \sqrt{\frac{L_{sc} + \lambda - 125}{L_{sc}}}$$

Siendo los términos:

$$C_{ft} = f_T + 0,5 - (0,7 \cdot f_T - 0,2) \cdot C_B$$

Se considera $f_T = 1$ ya que la condición de carga aun no se ha definido.

$$C_{ft} = 1 + 0,5 - (0,7 \cdot 1 - 0,2) \cdot 0,821$$

$$\mathbf{C_{ft} = 1,0895}$$

$$F_{yz} = C_x \cdot \frac{z}{T_{lc}} + (2 - C_x) \cdot f_{yb} + 1$$

$$F_{yz} = 1,5 \cdot \frac{0}{16,5} + (2 - 1,5) \cdot 0,345 + 1$$

$$\mathbf{F_{yz} = 1,173}$$

Se calcula el valor de que f_{yb} a partir de la siguiente expresión:

$$f_{yb} = \frac{|2y|}{B_x} \text{ se toma } y = 10 \text{ (valor aleatorio)}$$

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot 10|}{58}$$

$$\mathbf{f_{yb} = 0,345}$$

$$fh = 3 \cdot (1,21 - 0,66 \cdot f_T)$$

$$fh = 3 \cdot (1,21 - 0,66 \cdot 1)$$

$$\mathbf{fh = 1,65}$$

Se toma x como el punto a mitad de la eslora del buque, de manera aleatoria, ya que las abscisas en el fondo no afectan al resultado final.

$$C_x = 1,5 - \frac{|x - 0,5 \cdot L_{sc}|}{L_{sc}}$$

$$C_x = 1,5 - \frac{|185,75 - 0,5 \cdot 371,5|}{371,5}$$

$$\mathbf{C_x = 1,5}$$

$$f_{xl} = \frac{x}{L_{sc}}$$

$$f_{xl} = \frac{185,75}{371,5}$$

$$\mathbf{f_{xl} = 0,5}$$

$$f_{nl} = 0,9$$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + f_t) \cdot L_{sc}$$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 371,5$$

$$\lambda = 445,8$$

$K_p = 1 \rightarrow$ debido a la tabla que se muestra a continuación

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

$$K_a = 1 \rightarrow \text{para valores de } 0,15 \leq f_{xL} \leq 0,7$$

Recordando la expresión y sustituyendo los diferentes coeficientes se obtiene:

$$P_{hs} = C_{ft} \cdot f_{ps} \cdot f_{nl} \cdot f_h \cdot k_a \cdot k_p \cdot f_{yz} \cdot C_W \cdot \sqrt{\frac{L_{sc} + \lambda - 125}{L_{sc}}}$$

$$P_{hs} = 1,0895 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,173 \cdot 10,7 \cdot \sqrt{\frac{371,5 + 445,8 - 125}{371,5}}$$

$$P_{hs} = 27,72 \frac{kN}{m^2}$$

Tal y como se indica al inicio del apartado, se escogerá la mayor entre las dos calculadas, por tanto, será:

$$P_W = -27,72 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, volviendo a la ecuación inicial de las presiones del fondo se obtiene:

$$P_{ex} = P_S + P_W$$

$$P_{ex} = 165,91 - 27,72$$

$$P_{ex} = 138,19 \frac{kN}{m^2}$$

6.2.3 Plancha del fondo

La chapa de fondo, tal como era de esperar, ha de mantener la estanqueidad al agua del mar, así como también ha de aguantar el empuje producido por el agua y distribuir el esfuerzo a los distintos refuerzos de la estructura.

En el reglamento, Part 3, Chapter 3, Section 5, se nos indica el cálculo a realizar para la longitud mínima de la chapa de fondo, el cual se presenta a continuación:

$$b_{chapa_f} = (800 + 5 \cdot L_{sc}) \cdot 10^{-3}$$

$$b_{chapa_f} = (800 + 5 \cdot 371,5) \cdot 10^{-3}$$

$$b_{chapa_f} = 2,6775 \text{ m} \approx 2,7 \text{ m}$$

6.2.3.1 Espesor mínimo para la chapa de fondo

Aplicando la ecuación del espesor tal como se indica en el DNV:

$$t = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde para el fondo los valores son:

- $a = 4,5$
- $b = 0,035$
- $k \rightarrow$ este valor va ligado al tipo de acero para el caso 235 N/mm^2 vale 1
- $L_{sc} =$ Eslora de escantillonado

Sustituyendo en la ecuación:

$$t = 4,5 + 0,035 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$t = 17,5 \text{ mm}$$

6.2.3.2 Espesor requerido por ser una chapa de fondo

Se ha de calcular este espesor para ser comparado con el anterior.

$$t_{chapa_f} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Donde:

- $\alpha_p = 1,041$
- $b = 830 \text{ mm}$
- $C_a = 0,8$
- $R_{eH} = 235$
- $P = 138,19 \text{ kN/m}^2$

Por lo tanto, sustituyendo:

$$t_{chapa_f} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 830 \cdot \sqrt{\frac{|138,19|}{0,8 \cdot 235}}$$
$$t_{chapa_f} = 11,71 \text{ mm}$$

A partir de lo anteriormente calculado se obtiene que la chapa de fondo tendrá una longitud de 2,7 metros y un espesor de 18 milímetros.

6.2.4 Traca de pantoque

La traca de pantoque viene especificada en el DNV, Part 3, Chapter 6, Section 3, lo que establece un espesor mínimo para ésta de:

$$t = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde para el fondo los valores son:

- $a = 4,5$
- $b = 0,035$
- $k \rightarrow$ este valor va ligado al tipo de acero para el caso 235 N/mm^2 vale 1
- $L_{sc} =$ Eslora de escantillado

Sustituyendo en la ecuación:

$$t = 4,5 + 0,035 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t = 17,5 \text{ mm}$$

Además el reglamento establece que debido a que la traca de pantoque es una chapa de cierta curvatura, ha de tener un requerimiento especial, el cual se establece a continuación.

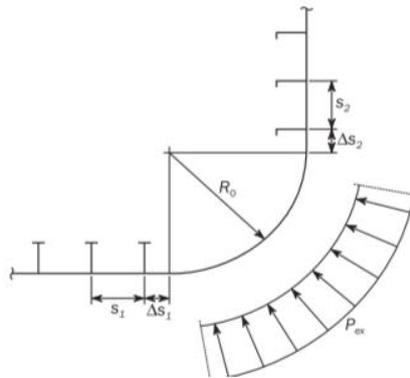
$$t_{pantoque} = 6,45 \cdot 10^{-4} \cdot (P_{ext} \cdot sb)^{0,4} \cdot R^{0,6}$$

Donde los valores son:

- R: radio efectivo del pantoque en milímetros

$$R = R_0 + 0,5 \cdot (\Delta s_1 + \Delta s_2)$$

- R_0 : Radio de curvatura del pantoque en milímetros, es decir, 4480 milímetros.
- Δs_1 y Δs_2 : son las distancias reflejadas en la imagen:



Volviendo a la ecuación del radio efectivo de pantoque:

$$R = 4480 + 0,5 \cdot (0,8043 + 0,8043)$$

$$R = 4480,8043 \text{ mm}$$

- S_b : separación de los elementos transversales, que equivale a 3 claras de cuaderna o lo que es lo mismo a 2250 milímetros.
- P_{ext} : es la presión exterior anteriormente calculada

Por tanto el espesor del pantoque por el simple hecho de ser pantoque será:

$$t_{pantoque} = 6,45 \cdot 10^{-4} \cdot (138,19 \cdot 2250)^{0,4} \cdot 4480,8043^{0,6}$$

$$t_{pantoque} = 15,76 \text{ mm}$$

En definitiva, y teniendo en cuenta que el reglamento establece que los espesores de las chapas de pantoque no han de ser menores que los de las chapas adyacentes, se establece que el espesor de la traca de pantoque será de 18 milímetros.

6.2.5 Quilla

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

Según el DNV, Part 3, Chapter 3, Section 5, el ancho de ésta no debe ser menor que:

$$b_0 = 0,8 + L_{sc}/200$$
$$b_0 = 0,8 + 371,5/200$$
$$b_0 = 2,6575 \text{ m} \approx 2,7 \text{ m}$$

En cuanto a su espesor, el reglamento, Part 3, Chapter 6, Section 3, indica lo siguiente:

$$t = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde para el fondo los valores son:

- $a = 5$
- $b = 0,05$
- $k \rightarrow$ este valor va ligado al tipo de acero para el caso 235 N/mm^2 vale 1
- $L_{sc} =$ Eslora de escantillonado

Sustituyendo en la ecuación:

$$t = 5 + 0,05 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t = 23,58 \text{ mm}$$

Como se puede observar se utilizará una chapa para la quilla plana de 2,7 metros de ancho y un espesor de 24 mm

6.2.6 Longitudinales del fondo

Este subapartado es referido a los refuerzos longitudinales, concretamente perfiles tipo llanta bulbo, los cuales se colocan paralelos a crujía y sus funciones son principalmente:

- Soportar el forro exterior evitando el pandeo y aportando suficiente resistencia longitudinal al casco.
- Repartir los esfuerzos a la estructura restante por medio de la estructura transversal.

6.2.6.1 Módulo requerido

Se establece el módulo requerido mediante las siguiente expresión:

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

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12 \rightarrow$ para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03 \rightarrow$ para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235 \rightarrow$ según la resistencia del acero
- $s = 830 \text{ mm} \rightarrow$ separacion de refuerzos
- $P = 138,19 \text{ kN/m}^2$

Sustituyendo en la ecuación:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |138,19| \cdot 830 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$Z = 353,5 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 240x10 mm y con un módulo de 368 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.3 Escantillonado de doble fondo

6.3.1 Plancha del doble fondo

El doble fondo está formado por tracas longitudinales unidas al resto de elementos de la estructura. Las funciones mas importantes del doble fondo son:

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

Se seguirá la misma metodología que en los elementos calculados anteriormente.

$$t_{doble\ fondo} = a + b \cdot L \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos de la ecuación se corresponden con:

- $a = 5,5$
- $b = 0,025$
- $L_{sc} = 371,5\ m$
- $k = 1$

Por lo tanto, sustituyendo en la expresión

$$t_{doble\ fondo} = 5,5 + 0,025 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{doble\ fondo} = \mathbf{14,79\ mm}$$

- Debido a la presión del agua de lastre:

El espesor de la chapa de doble fondo, de acuerdo con las presiones de los tanques de lastre se calculará según la expresión:

$$t_{doble\ fondo} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Donde cada término, al igual que en casos anteriores, se corresponde con:

- $\alpha_p = 1,041$
- $b = 830\ mm$
- $C_a = 0,8$
- $R_{eH} = 235$

Se ha de calcular la presión de la siguiente manera:

$$P = P_{int} = P_{ls} + P_{td}$$
$$P_{ls\ df} = \rho \cdot g \cdot (z_{top} - z + h_{air}) + P_{drop}$$

Donde los términos serán:

- $\rho = 1,025$ densidad del agua salada
- $P_{drop} = 0$ debido a que el tanque nunca desborda
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $z = 2 \text{ m}$, punto en el que termina el doble fondo.
- La altura del tanque de lastre será de 32 m.

Por lo que sustituimos en la ecuación:

$$P_{ls\ df} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (32 - 2 + 0) + 0$$

$$P_{ls\ df} = 301 \text{ kN/m}^2$$

Para el cálculo de P_{td} son necesarios una serie de parámetros que se mostrarán a continuación.

$$P_{td\ df} = f_{cd} \cdot (a_z \cdot (z_0 - z) + full \cdot a_x \cdot (x_0 - x) + full \cdot a_y \cdot (y_0 - y))$$

$$P_{td\ df} = 5,43 \text{ kN/m}^2$$

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:

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

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

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

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

Se realizan los cálculos de las aceleraciones con la ayuda del software Excel, de manera que resulta:

Parámetro	Valor
a0	0,255174851
aroll	0,030867338
Periodo de θ	20,65976924
a surge	0,813484716
a heave	2,609225572
a pitch	0,021803303
Angulo de pitch	6,527496855
Pitch period $T\varphi$	16,89333329
λ	445,8

ACELERACIONES	
ax	-0,4656737
ay	0
az	1,19672639

Tras realizar los cálculos anteriores se obtiene:

$$P = P_{int} = P_{ls} + P_{td}$$

$$P = P_{int} = 301 + 1,56$$

$$P = 306,43 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, se obtiene un valor del espesor, de acuerdo a la siguiente ecuación, de:

$$t_{doble\ fondo} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 830 \cdot \sqrt{\frac{|306,43|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{doble\ fondo} = 17,43 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se escoge un espesor de 18 milímetros para la chapa del doble fondo.

6.3.2 Longitudinales del doble fondo

Para poder hallar el módulo se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 830 \text{ mm}$: separación de refuerzos
- $P = 302,56 \text{ kN/m}^2$

$$Z = \frac{1,03 \cdot |302,56| \cdot 830 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 773,92 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 320x12 mm y con un módulo de 819 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.3.3 Vagras estancas

Para el cálculo de la vagra central, debido a que esta ha de ser estanca, se calcula como mamparo.

Se calcula tal como viene indicado en el DNV, Part 3, Chapter 6, Section 3:

$$t_{vagra \text{ central}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 5$
- $b = 0,03$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{vagra \text{ central}} = 5 + 0,03 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$\mathbf{t_{vagra \text{ central}} = 16,145 \text{ mm}}$$

6.3.4 Vagras no estancas

El valor del espesor de las vagras laterales viene determinado por la expresión anterior, solo que los parámetros tomarán valores distintos, tal y como se muestra a continuación:

$$t_{vagra\ lateral} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 5$
- $b = 0,017$
- $L_{sc} = 371,5\ m$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{vagra\ lateral} = 5 + 0,017 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$\mathbf{t_{vagra\ lateral} = 11,32\ mm}$$

Además, el reglamento, en este caso el DNV, requiere que el espesor de las vagras laterales cumpla con:

$$t_{vagra\ lateral} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$
$$t_{vagra\ lateral} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 830 \cdot \sqrt{\frac{|138,19|}{0,8 \cdot 235}}$$
$$\mathbf{t_{vagra\ lateral} = 11,7\ mm}$$

Escogiendo el mayor de los resultados, por ser el más restrictivo, el espesor de las vagras laterales quedará como:

$$\mathbf{t_{vagra\ lateral} = 11,7\ mm}$$

Como especificación a los dos subapartados anteriores se establece la altura mínima de las vagras como:

$$h = 1000 \cdot \frac{B}{20}$$

$$h = 1000 \cdot \frac{58}{20}$$

$$h = 2900 \text{ mm} = 2,9 \text{ m}$$

6.3.5 Varengas

Las varengas son los refuerzos primarios actuando en el fondo del buque y en sentido transversal.

Se podrán calcular los diferentes tipos de varengas dependiendo de si son estancas, llenas o abiertas, aunque al ser este un primer dimensionamiento, se van a calcular las varengas generales. Según lo que establece el reglamento el espesor mínimo para este tipo de refuerzos primarios ha de ser el que proporciona la siguiente expresión:

$$t_{varenga} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 5$
- $b = 0,017$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{varenga} = 5 + 0,017 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{varenga} = 11,32 \text{ mm}$$

6.4 Escantillonado de la cubierta

6.4.1 Presión en cubierta

La presión en cubierta se determina a partir de la siguiente expresión:

$$P_d = \max(P_{dmin}, P_{wd} - \rho \cdot g \cdot (z - z_{dk}))$$

$$P_{dmin} = 34,3 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{wd} - \rho \cdot g \cdot (z - z_{dk}) = 0$$

Donde:

- P_{dmin} : se establece en la tabla 31 del reglamento (Parte 3, Capítulo 4, Sección 5)
- z : altura de la cubierta para la que se realizan los cálculos
- z_{dk} : altura de la cubierta principal.
- P_{wd} : se establece en el Pt.3, Ch4 con un valor de 0.

6.4.2 Plancha de la cubierta resistente

El espesor mínimo requerido por el reglamento para la plancha de cubierta resistente corresponde a la siguiente expresión y coeficientes:

$$t_{cubierta} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,02$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{cubierta} = 4,5 + 0,02 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{cubierta} = \mathbf{11,93 \text{ mm}}$$

Además, el DNV establece que por el hecho de ser cubierta ha de comprobarse el espesor requerido por ser dicho elemento.

$$t_{cubierta} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

$$t_{cubierta} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 830 \cdot \sqrt{\frac{|34,3|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{cubierta} = \mathbf{5,83 \text{ mm}}$$

6.4.3 Longitudinales de la cubierta resistente

Para poder hallar el módulo utilizaremos la siguiente ecuación:

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

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 830 \text{ mm}$: separación de refuerzos
- $P = 34,3 \text{ kN/m}^2$

$$Z = \frac{1,03 \cdot |34,3| \cdot 830 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 87,74 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 140x9 mm y con un módulo de 93 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.4.4 Brazola de escotilla

El espesor mínimo, al igual que en casos anteriores viene dado por la expresión:

$$t_{cubierta} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,02$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{cubierta} = 4,5 + 0,02 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{cubierta} = \mathbf{11,93 \text{ mm}}$$

Se establece un espesor para las brazolas de escotilla requerido de:

$$t_{brazola} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Teniendo en cuenta una presión de diseño de 50 kN/m²:

$$t_{brazola} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 1130 \cdot \sqrt{\frac{|50|}{0,8 \cdot 235}}$$
$$t_{brazola} = \mathbf{9,58 \text{ mm}}$$

Por lo tanto, el espesor de la brazola de escotilla tendrá un espesor de 12 milímetros.

6.4.5 Longitudinales de las brazolas

Para poder hallar el módulo se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 1130 \text{ mm}$: separación de refuerzos
- $P = 50 \text{ kN/m}^2$

$$Z = \frac{1,03 \cdot |50| \cdot 1130 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$Z = 174,12 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 180x10 mm y con un módulo de 177 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.5 Escantillonado del costado

6.5.1 Presión del costado sumergido

La presión del costado sumergido se determina mediante las siguientes ecuaciones que se encuentran en el DNV, Parte 3, Capítulo 4.

$$P_{ext} = P_{est} + P_w$$

Se calculan a continuación, cada una de las componentes por separado

6.5.1.1 Presión estática del costado sumergido

Para el cálculo de la presión estática del costado sumergido se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{est \text{ costado sumergido}} = \rho \cdot g \cdot (T_{sc} - z)$$

Donde:

- ρ : es la densidad del agua salada
- g : aceleración de la gravedad
- T_{sc} : calado de escantillonado
- z : altura hasta terminación de la traca del pantoque

Por lo tanto sustituyendo en la ecuación:

$$P_{est \text{ costado sumergido}} = \rho \cdot g \cdot (T_{sc} - z)$$
$$P_{est \text{ costado sumergido}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (16,5 - 4,481)$$
$$P_{est \text{ costado sumergido}} = 120,854 \text{ kN/m}^2$$

6.5.1.2 Presión dinámica del costado sumergido

Por otro lado, para la presión dinámica se aplica lo siguiente:

$$P_W = \max\{-P_{hs}; \rho \cdot g \cdot (z - T_{escantillonado})\}$$

Siendo:

$$\begin{aligned} &\rho \cdot g \cdot (z - T_{escantillonado}) \\ &1,025 \cdot 9,81 \cdot (4 - 16,5) \\ &\mathbf{-120,854 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

$$P_{hs} = C_{ft} \cdot f_{ps} \cdot f_{nl} \cdot f_h \cdot k_a \cdot k_p \cdot f_{yz} \cdot C_W \cdot \sqrt{\frac{L_{sc} + \lambda - 125}{L_{sc}}}$$

Siendo los términos:

$$C_{ft} = f_T + 0,5 - (0,7 \cdot f_T - 0,2) \cdot C_B$$

Se considera $f_T = 1$ ya que la condición de carga aún no se ha definido.

$$\begin{aligned} C_{ft} &= 1 + 0,5 - (0,7 \cdot 1 - 0,2) \cdot 0,821 \\ &\mathbf{C_{ft} = 1,0895} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{yz} &= C_x \cdot \frac{z}{T_{lc}} + (2 - C_x) \cdot f_{yb} + 1 \\ F_{yz} &= 1,5 \cdot \frac{4}{16,5} + (2 - 1,5) \cdot 0,345 + 1 \\ &\mathbf{F_{yz} = 1,536} \end{aligned}$$

Se calcula el valor de que f_{yb} a partir de la siguiente expresión:

$$f_{yb} = \frac{|2y|}{B_x} \text{ se toma } y = 10 \text{ (valor aleatorio)}$$

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot 10|}{58}$$

$$\mathbf{f_{yb} = 0,345}$$

$$f_h = 3 \cdot (1,21 - 0,66 \cdot f_T)$$

$$fh = 3 \cdot (1,21 - 0,66 \cdot 1)$$

$$fh = 1,65$$

Se toma x como el punto a mitad de la eslora del buque, de manera aleatoria, ya que las abscisas en el fondo no afectan al resultado final.

$$C_x = 1,5 - \frac{|x - 0,5 \cdot L_{sc}|}{L_{sc}}$$

$$C_x = 1,5 - \frac{|185,75 - 0,5 \cdot 371,5|}{371,5}$$

$$C_x = 1,5$$

$$f_{xl} = \frac{x}{L_{sc}}$$

$$f_{xl} = \frac{185,75}{371,5}$$

$$f_{xl} = 0,5$$

$$f_{nl} = 0,9$$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + f_t) \cdot L_{sc}$$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 371,5$$

$$\lambda = 445,8$$

$K_p = 1 \rightarrow$ debido a la tabla que se muestra a continuación

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

$K_a = 1 \rightarrow$ para valores de $0,15 \leq f_{xl} \leq 0,7$

Recordando la expresión y sustituyendo los diferentes coeficientes se obtiene:

$$P_{hs} = C_{ft} \cdot f_{ps} \cdot f_{nl} \cdot f_h \cdot k_a \cdot k_p \cdot f_{yz} \cdot C_W \cdot \sqrt{\frac{L_{sc} + \lambda - 125}{L_{sc}}}$$

$$P_{hs} = 1,0895 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,536 \cdot 10,7 \cdot \sqrt{\frac{371,5 + 445,8 - 125}{371,5}}$$
$$P_{hs} = 35,51 \frac{kN}{m^2}$$

Tal y como se indica al inicio del apartado, se escogerá la mayor entre las dos calculadas, por tanto, será:

$$P_W = -35,51 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, volviendo a la ecuación inicial de las presiones del fondo se obtiene:

$$P_{ex} = P_S + P_W$$
$$P_{ex} = 120,854 - 35,51$$
$$P_{ex} = 85,344 \frac{kN}{m^2}$$

6.5.2 Planchas del forro exterior sobre la flotación

El espesor mínimo del costado por encima de la flotación se determina mediante la siguiente ecuación, que al igual que en casos anteriores, viene dada por el DNV.

$$t_{\text{forro ext sobre flotación}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,025$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{forro ext sobre flotación}} = 4,5 + 0,025 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{forro ext sobre flotación}} = 13,8 \text{ mm}$$

Se determina además, el espesor requerido por la norma simplemente por el hecho de ser costado.

$$t_{\text{costado req}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eh}}}$$

Teniendo en cuenta la presión calculada anteriormente, se obtiene:

$$t_{\text{costado req}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 880 \cdot \sqrt{\frac{|85,344|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{\text{costado req}} = \mathbf{9,75 \text{ mm}}$$

6.5.3 Planchas del forro exterior sumergido

El espesor mínimo del costado bajo la flotación se determina mediante la siguiente ecuación, que al igual que en casos anteriores, viene dada por el DNV.

$$t_{\text{forro ext bajo flotación}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,035$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{forro ext bajo flotación}} = 4,5 + 0,035 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{\text{forro ext bajo flotación}} = \mathbf{17,51 \text{ mm}}$$

Al igual que en el caso del costado por encima de la flotación se realiza el cálculo del espesor por el hecho de ser costado, tal como se indica en el reglamento.

$$t_{\text{costado req}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eh}}}$$

Teniendo en cuenta la presión calculada anteriormente, se obtiene:

$$t_{\text{costado req}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 880 \cdot \sqrt{\frac{|85,344|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{\text{costado req}} = 9,75 \text{ mm}$$

6.5.4 Traca de trancañil

Para calcular el espesor de la traca de trancañil, se ha de tener en cuenta los espesores que se han obtenido en el costado superior y la cubierta, los cuales son x mm y x mm respectivamente. A partir de esto se obtiene el espesor de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t_{\text{trancañil}} = \frac{t_{\text{costado sobre flotación}} + t_{\text{pantoque}}}{2}$$

Por lo tanto si se sustituyen los espesores anteriormente mencionados se obtiene:

$$t_{\text{trancañil}} = \frac{13,8 + 18}{2}$$

$$t_{\text{trancañil}} = 15,9 \text{ mm}$$

Se establece como espesor de la traca de trancañil, 16 mm.

6.5.5 Planchas del forro interior

Para el cálculo del escantillonado del forro interior, se ha de dividir este en dos zonas diferenciadas, una la del cajón de torsión y otra la zona de los tanques de lastre.

6.5.5.1 Cajón de torsión

El espesor mínimo de las placas del cajón de torsión será:

$$t_{\text{cajon torsión}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,02$

- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{cajon torsión}} = 4,5 + 0,02 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{cajón de torsión}} = \mathbf{11,93 \text{ mm}}$$

6.5.5.2 Forro interior en tanques de lastre

El espesor mínimo de las placas del resto del forro interior será:

$$t_{\text{forro interior}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,02$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{forro interior}} = 4,5 + 0,02 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{forro interior}} = \mathbf{11,93 \text{ mm}}$$

6.5.6 Longitudinales del forro exterior

Para poder hallar el módulo se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$

- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 880$ mm: separación de refuerzos
- $P = 306,43$ kN/m²

Sustituyendo en la ecuación original se obtiene:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |306,43| \cdot 880 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 831,03 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 320x13 mm y con un módulo de 849 cm³.

Se calculan también los longitudinales del forro exterior en este caso para el cajón de torsión:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |85,34| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 236,7 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 200x10 mm y con un módulo de 237 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.5.7 Longitudinales del forro interior

Para poder hallar el módulo se utiliza la siguiente ecuación:

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

Además se ha estimado la presión de los tanques de lastre del costado igual a la del fondo, para así simplificar los cálculos de este cuaderno, teniendo en cuenta que los márgenes aplicados son suficientes.

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 880 \text{ mm}$: separación de refuerzos
- $P = 306,43 \text{ kN/m}^2$

$$Z = \frac{1,03 \cdot |306,43| \cdot 880 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 831,03 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 320x13 mm y con un módulo de 849 cm³.

Se calculan también los longitudinales del forro exterior en este caso para el cajón de torsión:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |85,34| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$\mathbf{Z = 236,7 \text{ cm}^3}$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 200x10 mm y con un módulo de 237 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.5.8 Bulárcamas

Según lo que establece el reglamento el espesor mínimo para este tipo de refuerzos ha de ser el que proporciona la siguiente expresión:

$$t_{bularcamas} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,015$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$

- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{bularcama}} = 4,5 + 0,015 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{bularcama}} = \mathbf{10,07 \text{ mm}}$$

6.5.9 *Palmejares*

Según lo que establece el reglamento el espesor mínimo para este tipo de refuerzos ha de ser el que proporciona la siguiente expresión:

$$t_{\text{palmejares}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,015$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{palmejares}} = 4,5 + 0,015 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{palmejares}} = \mathbf{10,07 \text{ mm}}$$

6.6 Escantillonado de los mamparos

6.6.1 *Planchas del mamparo transversal*

Se ha de calcular este espesor mediante la expresión siguiente:

$$t_{\text{chapa mamparo}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Donde:

- $\alpha_p = 1,041$
- $b = 880 \text{ mm}$
- $C_a = 0,9$

- $R_{eH} = 235$
- $P = 306,43 \text{ kN/m}^2$

Por lo tanto, sustituyendo:

$$t_{chapa \text{ mamparo}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 880 \cdot \sqrt{\frac{|306,43|}{0,9 \cdot 235}}$$

$$t_{chapa} = 17,43 \text{ mm}$$

A partir de lo anteriormente calculado se obtiene que la chapa de mamparo tendrá un espesor de 18 milímetros.

6.6.2 Refuerzos mamparo transversal

Para poder hallar el módulo se emplea la siguiente ecuación:

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

Además se ha estimado la presión de los tanques de lastre del costado igual a la del fondo, para así simplificar los cálculos de este cuaderno, teniendo en cuenta que los márgenes aplicados son suficientes.

Donde cada término es:

- $C_s = 0,6$
- $l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$
- $f_{bdg} = 12$: para refuerzos horizontales
- $f_u = 1,03$: para perfiles tipo llanta bulbo
- $R_{eH} = 235$: según la resistencia del acero
- $s = 880 \text{ mm}$: separación de refuerzos
- $P = 306,43 \text{ kN/m}^2$

$$Z = \frac{1,03 \cdot |306,43| \cdot 880 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 831,03 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, se escoge un refuerzo de tipo llanta bulbo de 320x13 mm y con un módulo de 849 cm³.

Se adjunta el catálogo de perfiles en el Anexo I.

6.6.3 Mamparo transversal estanco

Según lo que establece el reglamento el espesor mínimo para este tipo de mamparos ha de ser el que proporciona la siguiente expresión:

$$t_{\text{mamparo estanco}} = a + b \cdot L_{sc} \cdot \sqrt{k}$$

Donde los términos toman los valores siguientes:

- $a = 4,5$
- $b = 0,01$
- $L_{sc} = 371,5 \text{ m}$
- $k = 1$

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$t_{\text{mamparo estanco}} = 4,5 + 0,01 \cdot 371,5 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{\text{mamparo estanco}} = \mathbf{8,215 \text{ mm}}$$

7 RESUMEN DEL ESCANTILLONADO

A continuación se muestran unas tablas resumen con los resultados obtenidos del estantillonado local del buque:

CHAPAS			
ELEMENTOS		ESPEORES, mm	
FONDO	Traca del fondo		18
	Traca del pantoque		18
	Quilla	Fondo	24
DOBLE FONDO	Plancha de doble fondo		18
	Vagras	Estancas	17
		No estancas	12
	Varengas	Estancas	12
CUBIERTA	Cubierta resistente		12
	Brazola		12
COSTADO	Forro exterior	No sumergido	14
		Sumergido	18
		Traca de trancañil	16
	Forro interior	Cajón de torsión	12
		Tanques de lastre	12
	Palmejares		10
	Bulárcamas		10
MAMPARO TRANSVERSAL		9	

REFUERZOS					
ELEMENTO		MÓDULO [cm3]	PERFIL	MÓDULO SELECCIONADO [cm3]	ÁREA [cm2]
FONDO	Longitudinales de fondo	353,5	240 x 10	368	32,4
DOBLE FONDO	Longitudinales de doble fondo	773,92	320 x 12	819	54,2
CUBIERTA	Longitudinales de cubierta resistente	87,74	140 x 9	93	15,2
	Longitudinales brazolas	117,2	160 x 8	118	22,5
COSTADO	Longitudinales de forro exterior (CAJÓN DE TORSIÓN)	236,7	200 x 10	237	25,6
	Longitudinales forro exterior (LASTRE)	831,03	320 x 13	849	57,4
	Longitudinales de forro interior (CAJÓN DE TORSIÓN)	236,7	200 x 10	237	25,6
	Longitudinales de forro interior (LASTRE)	831,03	320 x 13	849	57,4
MAMPAROS TRANSVERSALES		831,03	831,03	320 x 13	849

8 CÁLCULO DEL MÓDULO Y DE LA INERCIA

Una vez conocidos los valores del escantillonado de la cuaderna maestra y su disposición, será necesario realizar el cálculo del módulo resistente de dicha cuaderna maestra. Para esto se han de tener en cuenta aquellos momentos que participan en la resistencia longitudinal.

Las ecuaciones que se van a utilizar son:

- Inercia respecto a línea base:

$$I_0 = \sum A \cdot Z_g^2 + \sum I_p$$

- Posición del eje neutro respecto del fondo

$$e_B = \frac{\sum A \cdot Z_g}{\sum A}$$

- Posición del eje neutro respecto a la cubierta

$$e_D = D - e_B$$

- La inercia respecto al eje neutro será entonces:

$$I = I_0 - \sum A \cdot e_B^2$$

- El módulo en el fondo es:

$$W_B = \frac{I}{e_B}$$

- El módulo en la cubierta será:

$$W_D = \frac{I}{e_D}$$

A continuación se presentan las tablas resumen de los cálculos:

BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

Cuaderno 8: Cuaderna Maestra

Miguel Ángel Rodríguez González

		CHAPAS	nº	Ly [m]	Lz [m]	A [m²]	Zg [m]	A · Zg[m³]	A · Zg² [m⁴]	Ip [m⁴]	It	sum it [m⁴]
FONDO		Traca del fondo	2	27,7	0,018	0,997	0,009	0,009	0,000	0,001	0,002	0,003
		Traca del pantoque	2			0,252	1,475	0,372	0,548	0,062	0,610	1,220
		Quilla	1	2,488	0,024	0,060	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		Plancha doble fondo	2	25,23	0,018	0,908	0,009	0,008	0,000	0,001	0,001	0,003
		Vagras estancas	2	0,017	2,000	0,068	1,000	0,068	0,068	0,011	0,079	0,159
		Vagras no estancas	20	0,012	2,000	0,480	1,000	0,480	0,480	0,080	0,560	11,200
CUBIERTA		Cubierta resistente	2	2,325	0,012	0,056	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Brazola	2	0,012	2,300	0,055	1,150	0,063	0,073	0,011	0,084	0,167
COSTADO	FORRO INTERIOR	z = 2,64	2	0,012	2,640	0,063	3,320	0,210	0,698	0,035	0,733	1,467
		z = 5,28	2	0,012	2,640	0,063	5,960	0,378	2,251	0,063	2,314	4,627
		z = 7,92	2	0,012	2,640	0,063	8,600	0,545	4,686	0,091	4,777	9,554
		z = 10,56	2	0,012	2,640	0,063	11,240	0,712	8,005	0,119	8,123	16,247
		z = 13,2	2	0,012	2,640	0,063	13,880	0,879	12,207	0,147	12,353	24,706
		z = 15,84	2	0,012	2,640	0,063	16,520	1,047	17,292	0,174	17,466	34,932
		z = 18,48	2	0,012	2,640	0,063	19,160	1,214	23,260	0,202	23,462	46,924
		z = 21,12	2	0,012	2,640	0,063	21,800	1,381	30,111	0,230	30,341	60,683
		z = 23,76	2	0,012	2,640	0,063	24,440	1,549	37,846	0,258	38,104	76,208
		z = 26,4	2	0,012	2,640	0,063	27,080	1,716	46,464	0,286	46,750	93,499
		Cajon de torsión	2	0,012	3,600	0,086	28,88	2,495	72,062	0,416	72,478	144,956
	FORRO EXTERIOR	z = 2,64	2	0,018	2,640	0,095	3,320	0,316	1,048	0,053	1,100	2,200
		z = 5,28	2	0,018	2,640	0,095	5,960	0,566	3,376	0,094	3,470	6,941
		z = 7,92	2	0,018	2,640	0,095	8,600	0,817	7,029	0,136	7,165	14,331
		z = 10,56	2	0,018	2,640	0,095	11,240	1,068	12,007	0,178	12,185	24,370
		z = 13,2	2	0,018	2,640	0,095	13,880	1,319	18,310	0,220	18,530	37,059
		z = 15,84	2	0,014	2,640	0,074	16,520	1,221	20,174	0,204	20,377	40,754
		z = 18,48	2	0,014	2,640	0,074	19,160	1,416	27,136	0,236	27,372	54,745
		z = 21,12	2	0,014	2,640	0,074	21,800	1,611	35,130	0,269	35,398	70,797
		z = 23,76	2	0,014	2,640	0,074	24,440	1,807	44,153	0,301	44,455	88,909
z = 26,4		2	0,014	2,640	0,074	27,080	2,002	54,207	0,334	54,541	109,082	
	Cajón de torsión	2	0,016	3,600	0,115	28,880	3,327	96,083	0,554	96,638	193,275	

BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

Cuaderno 8: Cuaderna Maestra

Miguel Ángel Rodríguez González

4,556	366,421	28,598	574,704	1169,020
-------	---------	--------	---------	----------

REFUERZOS		nº	A refuerzo [m ²]	A total [m ²]	Zg [m]	A · Zg[m ³]	A · Zg ² [m ⁴]	Ip [m ⁴]	It	sum it [m ⁴]	
FONDO	Longitudinales del fondo	40	0,003	0,130	0,120	0,016	0,002	0,186	0,188	7,515	
	Longitudinales del doble fondo	40	0,005	0,217	0,160	0,035	0,006	0,553	0,559	22,342	
CUBIERTA	Longitudinales de la cubierta	4	0,002	0,006	31,930	0,194	6,199	0,022	6,221	24,882	
	Longitudinales de la brazola	2	0,002	0,005	33,130	0,149	4,939	0,041	4,980	9,961	
COSTADO	FORRO INTERIOR	Longitudinales forro interior 1	2	0,006	0,011	2,878	0,033	0,095	0,585	0,680	1,360
		Longitudinales forro interior 2	2	0,006	0,011	3,758	0,043	0,162	0,585	0,747	1,494
		Longitudinales forro interior 3	2	0,006	0,011	5,515	0,063	0,349	0,585	0,934	1,868
		Longitudinales forro interior 4	2	0,006	0,011	6,395	0,073	0,470	0,585	1,055	2,109
		Longitudinales forro interior 5	2	0,006	0,011	8,152	0,094	0,763	0,585	1,348	2,696
		Longitudinales forro interior 6	2	0,006	0,011	9,032	0,104	0,936	0,585	1,521	3,043
		Longitudinales forro interior 7	2	0,006	0,011	10,789	0,124	1,336	0,585	1,921	3,842
		Longitudinales forro interior 8	2	0,006	0,011	11,669	0,134	1,563	0,585	2,148	4,296
		Longitudinales forro interior 9	2	0,006	0,011	13,426	0,154	2,069	0,585	2,654	5,308
		Longitudinales forro interior 10	2	0,006	0,011	14,306	0,164	2,349	0,585	2,934	5,869
		Longitudinales forro interior 11	2	0,006	0,011	16,062	0,184	2,962	0,585	3,547	7,094
		Longitudinales forro interior 12	2	0,006	0,011	16,942	0,194	3,295	0,585	3,880	7,760
		Longitudinales forro interior 13	2	0,006	0,011	18,699	0,215	4,014	0,585	4,599	9,198
		Longitudinales forro interior 14	2	0,006	0,011	19,579	0,225	4,401	0,585	4,986	9,972
		Longitudinales forro interior 15	2	0,006	0,011	21,336	0,245	5,226	0,585	5,811	11,622
		Longitudinales forro interior 16	2	0,006	0,011	22,216	0,255	5,666	0,585	6,251	12,502
		Longitudinales forro interior 17	2	0,006	0,011	23,973	0,275	6,597	0,585	7,182	14,365
		Longitudinales forro interior 18	2	0,006	0,011	24,853	0,285	7,091	0,585	7,676	15,351
		Longitudinales forro interior 19	2	0,006	0,011	26,610	0,305	8,129	0,585	8,714	17,427
		Longitudinales forro interior 20	2	0,006	0,011	27,490	0,316	8,675	0,585	9,260	18,520
Longitudinales cajón de torsión 1	2	0,003	0,005	29,270	0,150	4,386	0,102	4,488	8,977		
Longitudinales cajón de torsión 2	2	0,003	0,005	30,170	0,154	4,660	0,102	4,762	9,524		

BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

Cuaderno 8: Cuaderna Maestra

Miguel Ángel Rodríguez González

FORRO EXTERIOR	Longitudinales cajón de torsión 3	2	0,003	0,005	31,070	0,159	4,942	0,102	5,044	10,089
	Longitudinales cajón de torsión 4	2	0,003	0,005	31,970	0,164	5,233	0,102	5,335	10,670
	Longitudinales forro exterior 1	2	0,006	0,011	2,878	0,033	0,095	0,585	0,680	1,360
	Longitudinales forro exterior 2	2	0,006	0,011	3,758	0,043	0,162	0,585	0,747	1,494
	Longitudinales forro exterior 3	2	0,006	0,011	5,515	0,063	0,349	0,585	0,934	1,868
	Longitudinales forro exterior 4	2	0,006	0,011	6,395	0,073	0,470	0,585	1,055	2,109
	Longitudinales forro exterior 5	2	0,006	0,011	8,152	0,094	0,763	0,585	1,348	2,696
	Longitudinales forro exterior 6	2	0,006	0,011	9,032	0,104	0,936	0,585	1,521	3,043
	Longitudinales forro exterior 7	2	0,006	0,011	10,789	0,124	1,336	0,585	1,921	3,842
	Longitudinales forro exterior 8	2	0,006	0,011	11,669	0,134	1,563	0,585	2,148	4,296
	Longitudinales forro exterior 9	2	0,006	0,011	13,426	0,154	2,069	0,585	2,654	5,308
	Longitudinales forro exterior 10	2	0,006	0,011	14,306	0,164	2,349	0,585	2,934	5,869
	Longitudinales forro exterior 11	2	0,006	0,011	16,062	0,184	2,962	0,585	3,547	7,094
	Longitudinales forro exterior 12	2	0,006	0,011	16,942	0,194	3,295	0,585	3,880	7,760
	Longitudinales forro exterior 13	2	0,006	0,011	18,699	0,215	4,014	0,585	4,599	9,198
	Longitudinales forro exterior 14	2	0,006	0,011	19,579	0,225	4,401	0,585	4,986	9,972
	Longitudinales forro exterior 15	2	0,006	0,011	21,336	0,245	5,226	0,585	5,811	11,622
	Longitudinales forro exterior 16	2	0,006	0,011	22,216	0,255	5,666	0,585	6,251	12,502
	Longitudinales forro exterior 17	2	0,006	0,011	23,973	0,275	6,597	0,585	7,182	14,365
	Longitudinales forro exterior 18	2	0,006	0,011	24,853	0,285	7,091	0,585	7,676	15,351
	Longitudinales forro exterior 19	2	0,006	0,011	26,610	0,305	8,129	0,585	8,714	17,427
	Longitudinales forro exterior 20	2	0,006	0,011	27,490	0,316	8,675	0,585	9,260	18,520
	Longitudinales cajón de torsión 1	2	0,003	0,005	29,270	0,150	4,386	0,102	4,488	8,977
	Longitudinales cajón de torsión 2	2	0,003	0,005	30,170	0,154	4,660	0,102	4,762	9,524
	Longitudinales cajón de torsión 3	2	0,003	0,005	31,070	0,159	4,942	0,102	5,044	10,089
	Longitudinales cajón de torsión 4	2	0,003	0,005	31,970	0,164	5,233	0,102	5,335	10,670
				0,857	917,652	8,620	181,886			454,614

Tras la realización de los cálculos pertinentes se obtiene:

RESULTADOS	
INERCIA FINAL DESDE BASE [m ⁴]	1623,63
INERCIA REQUERIDA [m ⁴]	1451,94
EJE NEUTRO DESDE LB [m]	16,33
EJE NEUTRO DESDE CUBIERTA [m]	15,67

MODULO MÍNIMO REQUERIDO EN FONDO [m ³]	88,89
MODULO MÍNIMO REQUERIDO EN CUBIERTA [m ³]	92,68

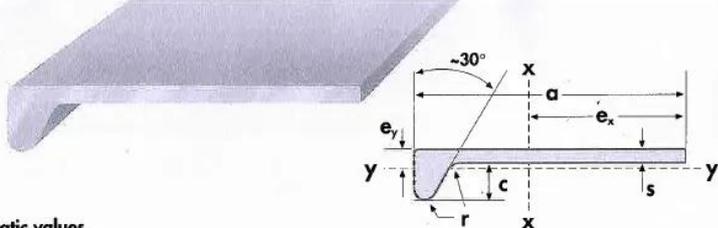
MODULO EN EL FONDO [m ³]	99,41
MODULO EN LA CUBIERTA [m ³]	103,64

Como se puede comprobar en las tablas de resultados anteriores, los módulos calculados son mayores que los requeridos tanto en fondo como en cubierta.

9 ANEXO I: CATÁLOGO DE PERFILES TIPO BULBO

Bulb Flats

ROLLED



Dimension range, weight/m and static values

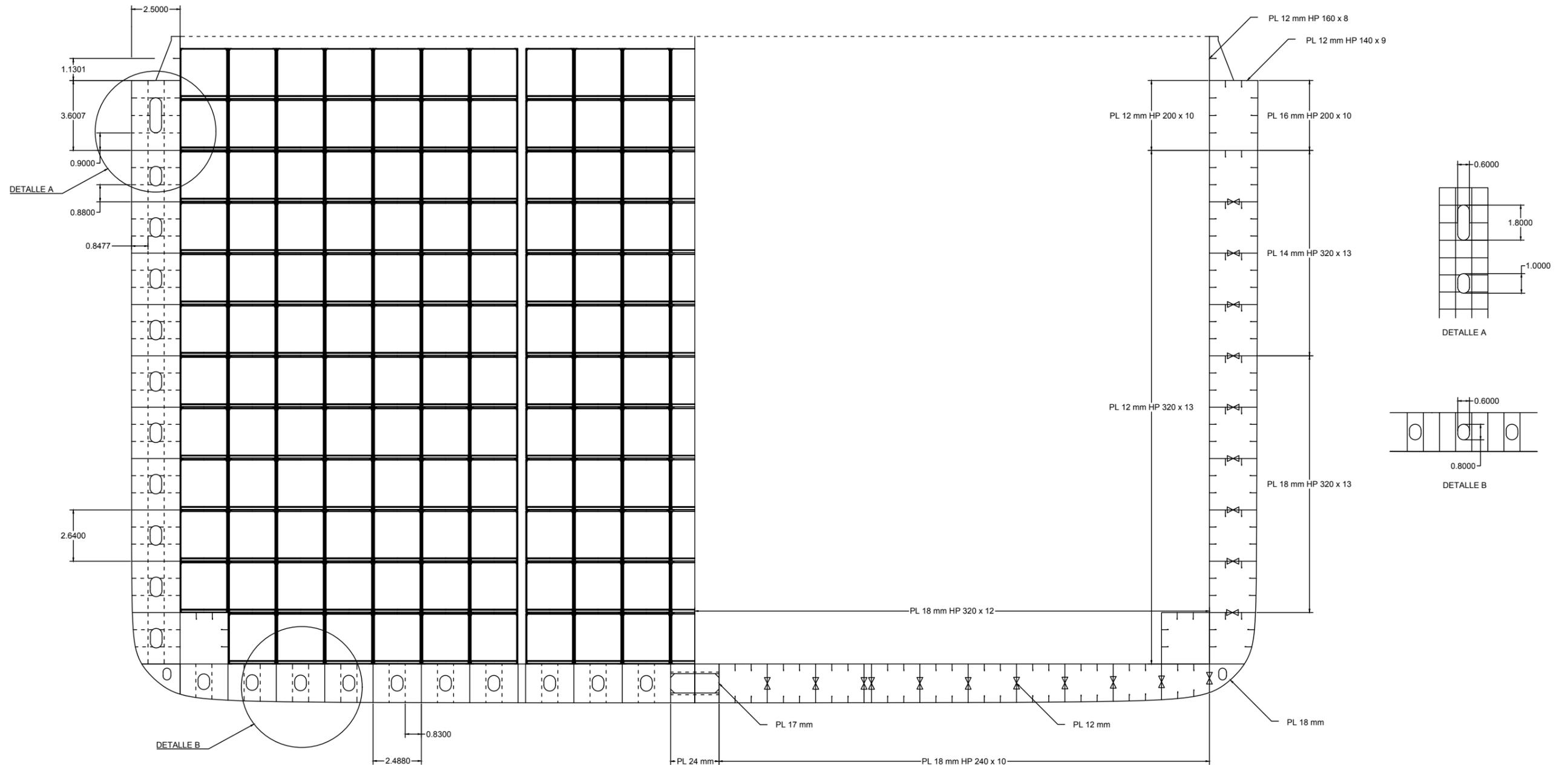
Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e _x cm	I _x cm ⁴	e _y cm	I _y cm ⁴	W _x * cm ³	Plate cross sectional area cm ²	
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	0.44	0.61	13	60	
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	0.47	0.74	14		
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	0.51	0.88	16		
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	0.47	1.02	23		
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	0.50	1.20	25		
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	0.54	1.42	27		
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m												
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	0.51	1.71	38		
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	0.55	1.99	41		
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	0.59	2.31	45		
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	0.53	2.34	54		
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	0.56	2.70	59		
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	0.60	3.10	63		
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	0.59	3.81	80		
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	0.63	4.33	87		
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	0.67	4.91	93		
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	0.65	5.84	110		
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	0.68	6.54	118		
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	0.71	7.30	126		
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	0.74	9.92	157		
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	0.77	10.95	166		
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	0.81	12.07	177		
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	0.84	15.75	225		
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	0.87	17.20	237		
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	0.92	19.62	255		
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	0.93	23.85	302		
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	0.98	26.91	323		
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	1.00	32.36	368		
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	1.03	34.83	391		
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	1.06	37.45	406		
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2430	1.07	42.8	455		
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	1.10	45.9	474		
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	1.13	49.1	493		
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	1.17	59.4	566		
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3550	1.19	63.3	590		
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	1.24	75.7	671		
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	1.26	80.4	701		
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	1.29	85.3	728		
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	1.34	101	819		
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	1.36	107	849		
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	1.41	125	947		
	14	49	15	65.5	51.5	21.1	7540	1.46	139	1014		
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1.55	177	1210		
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1.59	195	1278		
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1.68	243	1580		
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1.72	267	1666		
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1.81	328	1935		
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	1.85	356	2036		

Standard lengths
6 - 18 m
220 - 430 mm profiles available up to 25 m lengths
by special agreement.

Orders must include
measurements, a x s
lengths
quantity (minimum 3000 kg)

* Inclusive plate as noted

ANEXO II: PLANO DE CUADERNA MAESTRA



SEPARACIÓN ENTRE CUADERNAS: 0,750 m

ESLORA ENTRE PERRPENDICULARES, LPP: 382,4 m

MANGA, B: 58 m

PUNTAL, D: 32 m

CALADO, T: 16,5 m

CALADO DE ESCANTILLONADO: 16,5 m

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR				
PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA				
TÍTULO PLANO: CUADERNA MAESTRA		FIRMA: 	ESCALA: 1:220	FORMATO: A3
AUTOR: MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ		FECHA: SEPTIEMBRE 2021	Nº DE PLANO: 01/01	