



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2021/2022

Petrolero VLCC con 300000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Pedro Lemos González

TUTOR

Marcos Míguez González

FECHA

JUNIO 2022

PETROLERO VLCC DE 300000 TPM

Castellano:

El presente proyecto comprenderá el diseño de un buque petrolero de 300000 toneladas de peso muerto con 30 tripulantes que sea capaz de navegar grandes distancias típicas en este tipo de buques.

Concretamente este buque será diseñado para hacer el trayecto de carga en Arabia Saudita y descarga en Singapur, China y Japón. Además, la autonomía será de 18.000 millas (~29.000km).

El buque constará además con un sistema de propulsión de gas capaz de aprovechar los gases residuales de la carga de crudo con el fin de mejorar la eficiencia de la turbina de cara a la contaminación del medioambiente y de reducir las presiones en el interior de los tanques de crudo. El sistema de carga y descarga será por cámara de bombas y el resto de equipo e instalaciones serán los habituales en este tipo de buques.

Galego:

O presente proxecto comprenderá o deseño dun buque petroleiro de 300000 toneladas de peso morto con 30 tripulantes que sexa capaz de navegar grandes distancias típicas neste tipo de buques.

Concretamente este buque será deseñado para facer o traxecto de carga en Arabia Saudita e descarga en Singapur, China e Xapón. Ademáis, a autonomía será de 18 millas (~29.000km).

O buque constará ademáis cun sistema de propulsión de gas capaz de aproveitar os gases residuais da carga de crudo co fin de mellorar a eficiencia da turbina de cara á contaminación do medioambiente e de reducir as presións do interior dos tanques de crudo. O sistema de carga e descarga será por cámara de bombas e o resto de equipo e instalacións serán os habituais neste tipo de buques.

English:

The present project involves a crude carrier ship design of 300000 deathweight tonnage with 30 crew that it will be able to sail very large routes, typical in this kind of ships.

Particullary, this ship will be designed to do routes from Arabia Saudi in loading to Singapore, China and Japan in disloading. Moreover, the autonomy will be of 18.000 miles (~29.000 km).

This ship will consist in adition with a gas propulsion system that it wil be able to take advantage of residual gas from crude to improve the eficiencie of the turbine against the enviromental pollution. That's why the highest presures inside tanks must be reduced in order to difuse danger. Charge system will consist in a pump room and the rest of instalations will be the typical among these kind of ships.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2021/22**

Petrolero VLCC de 300000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno VIII:

CUADERNA MAESTRA

ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2021-2022

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE:

Petrolero

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:

DNV, SOLAS y MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:

300000 TPM. Crudos del petróleo y sus derivados con densidad máxima de 0.95 g/ml

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:

14.8 Knots de velocidad de servicio. 18.000 millas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:

Cámara de bombas

PROPULSIÓN:

Motor convencional

Combustible: HFO (fuelóleo pesado) y LNG (gas natural licuado)

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30

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

Ferrol, 27 de junio de 2022

ALUMNO/A: **Dº Pedro Lemos González**

ÍNDICE

Petrolero VLCC de 300000 TPM.....	2
Índice	5
1 Introducción.	7
2 Parámetros de diseño.	8
2.1 Consideraciones iniciales.....	8
2.2 Definición de los parámetros.....	8
2.2.1 Eslora de escantillonado.....	8
2.2.2 Manga de escantillonado.	8
2.2.3 Puntal de escantillonado.....	8
2.2.4 Calado de escantillonado.....	9
2.2.5 Coeficiente de bloque.	9
2.2.6 Espacio entre cuadernas y bulárcamas.	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 en la cuaderna.	13
4.1 Materiales.	13
4.2 Escantillonado del fondo.	13
4.2.1 Altura del doble fondo.....	13
4.2.2 Presiones del fondo.	13
4.2.3 Plancha del fondo.....	16
4.2.4 Traca de pantoque.....	17
4.2.5 Quilla.	18
4.2.6 Longitudinales de fondo.....	19
4.3 Escantillonado de doble fondo.	20
4.3.1 Plancha de doble fondo.	20
4.3.2 Longitudinales del doble fondo.	23
4.3.3 Vagras estancas.	23
4.3.4 Vagras no estancas.	24
4.3.5 Varengas.	24
4.4 Escantillonado de la cubierta.	25
4.4.1 Presión en cubierta.....	25

4.4.2 Plancha de la cubierta.	25
4.4.3 Longitudinales de la cubierta resistente.	26
4.5 Escantillonado de costado.	26
4.5.1 Presión de costado sumergido.....	26
4.5.2 Planchas del forro exterior sobre la flotación.	29
4.5.3 Planchas del forro exterior sumergido.....	29
4.5.4 Traca de trancañil.	30
4.5.5 Planchas del forro exterior.	30
4.5.6 Longitudinales del forro exterior.....	31
4.5.7 Longitudinales del forro interior.....	31
4.5.8 Bulárcamas.....	32
4.5.9 Palmejares.....	32
4.6 Escantillonado de los mamparos.	33
4.6.1 Planchas mamparos longitudinales.....	33
4.6.2 Refuerzos mamparo longitudinal.	33
4.6.3 Planchas del mamparo transversal.....	34
4.6.4 Refuerzos mamparo transversal.....	34
4.6.5 Mamparo transversal estanco.....	35
5 Resumen de escantillonado.	36
6 Cálculo del módulo y de la inercia.....	38
7 Bibliografía.....	45
8 Anejo I: Catálogo de perfiles tipo llanta de bulbo.....	46
9 Anejo II: Plano de cuaderna Maestra.	47

1 INTRODUCCIÓN.

A lo largo de este cuaderno se llevará a cabo el diseño de la cuaderna maestra del buque proyecto. Para ello se realizará el cálculo de la resistencia longitudinal.

A continuación, se muestran los parámetros finales del buque:

L_{pp}	325 m
L_{TOTAL}	339,3 m
B	60 m
D	30 m
T	19,665 m
C_b	0,83
C_m	0,99
C_p	0,80
C_{wp}	0,88
Δ	365.984 ton
P_{rosca}	46.442,83 ton
Superficie Mojada	28.080,829 m ²
Velocidad	14,8 Knots
Semiángulo de entrada	51°
Potencia al 85%MCR	39.930,71 kW
RPM	86
Coste de Adquisición	126.795.908,8 €

2 PARÁMETROS DE DISEÑO.

2.1 Consideraciones iniciales.

Para la realización de este cuaderno y para la definición de los parámetros de diseño del buque se utilizará, tal y como se indica en la RPA, el reglamento de una de las sociedades de clasificación más comunes del mundo, en este caso será el reglamento del DNV (Det Norske Veritas).

La zona de carga estará delimitada en el costado y en el doble fondo por los tanques de lastre cumpliendo siempre con los valores mínimos exigidos por el MARPOL.

Con respecto a la tipología estructural del buque proyecto, se define una estructura longitudinal en fondo, doble fondo y cubierta, pues nuestra eslora supera los 100 metros. El DNV recomienda dicha tipología dado que soporta mejor los esfuerzos a flexión del buque-viga y contribuye a minimizar el peso de aceros.

2.2 Definición de los parámetros.

Así pues, para definir los parámetros reglamentarios del buque tenemos que acceder al apartado Pt.3 Ch.1 Sec.4 del DNV, los cuales son los siguientes:

2.2.1 Eslora de escantillonado.

Se trata de la eslora definida por el convenio internacional de líneas de carga de 1966. Ésta se define 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 esta fuera mayor.

$$\max(0,96 \times L_{wl}; \min(0,97 \times L_{wl}; L_{pp}))$$

En nuestro caso:

$$L_{wl} = 333,9 \text{ m}$$

$$L_{pp} = 325 \text{ m}$$

Por tanto, nuestra eslora de escantillonado será:

$$L_{SC} = \max(320,5; \min(323,8; 325))$$

$$L_{SC} = \mathbf{323,8}$$

2.2.2 Manga de escantillonado.

Será la manga de trazado del buque:

$$B_{SC} = \mathbf{60 \text{ m}}$$

2.2.3 Puntal de escantillonado.

Es el puntal medido en costado desde la línea de base hasta la cubierta continua más alta, es nuestro caso:

$$D = \mathbf{30 \text{ m}}$$

2.2.4 Calado de escantillonado.

Se fijará como el calado de verano:

$$T_{SC} = 22 \text{ m}$$

2.2.5 Coeficiente de bloque.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_B = \frac{\Delta}{1,025 \times L_{SC} \times B_{SC} \times T_{SC}}$$

Siendo:

$$\Delta = 366085 \text{ ton}$$

$$B_{SC} = 60 \text{ m}$$

$$T_{SC} = 22 \text{ m}$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

Por tanto:

$$C_B = \frac{366085}{1,025 \times 323,8 \times 60 \times 22}$$

$$C_B = 0,835$$

2.2.6 Espacio entre cuadernas y bulárcamas.

Según lo visto en el cuaderno 4, se dispondrá de una bulárcama cada 4 cuadernas en espacio de carga y de una bulárcama cada tres cuadernas en zonas de popa y proa.

La zona de popa comprenderá desde el espejo de popa hasta la sección situada a 60 metros de la perpendicular de popa, de forma que la eslora total de la zona de popa será de 68,962 metros. Por tanto, se tendrán un total de 65 cuadernas y 32 bulárcamas separadas 700 mm entre sí.

El espacio de carga comprenderá desde la sección situada a 60 metros de la perpendicular de popa hasta la sección situada a 290 metros de la perpendicular de popa, de forma que la eslora total de la zona de carga será de 230 metros. Por tanto, se tendrán un total de 184 cuadernas y 46 bulárcamas separadas 1000 mm entre sí.

La zona de proa comprenderá desde la sección situada a 290 metros de la perpendicular de popa hasta el punto más a proa del buque situado a 330,3 metros de la perpendicular de popa, de forma que la eslora total de la zona de proa será de 40,3 metros. Por tanto, se tendrán un total de 38 cuadernas y 19 bulárcamas separadas 700 mm entre sí.

A continuación, se dispone una tabla resumen del número de cuadernas por zona (se incluyen las bulárcamas entre los números de cuadernas):

ZONAS	NUMERO DE CUADERNAS
POPA (s=700mm)	Nº 0 → Nº 97 (67,90 m)
CARGA (s=1000mm)	Nº 98 → Nº 327 (230 m)
PROA (s=700mm)	Nº 328 → Nº 384 (39,90 m)

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

3.1 Módulo resistente.

Para que la cuaderna cumpla con las exigencias mínimas correspondientes a resistencia longitudinal, debemos calcular el módulo resistente mínimo, el cual calcularemos según el reglamento DNV.

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

Siendo, en nuestro caso:

$C_{wo} = 10,75$ (Para $300 < L < 350$) [DNV: Part 3, Chapter 4, Section 4]

$f_1 = 1$ (depende del tipo de acero)

L : eslora de escantillonado (323,8 m)

B : manga de escantillonado (60 m)

C_B = coeficiente de bloque (0,835)

Por tanto:

$$Z_0 = \frac{10,75}{1} \times 323,8^2 \times 60 \times (0,835 + 0,7)$$

$$Z_0 = 103.805.839,1 \text{ cm}^3$$

Así pues, se marca el valor anterior como el valor mínimo que deberá tener el módulo del buque en su condición más restrictiva.

3.2 Módulo requerido.

El módulo requerido, según el DNV se calcula con la siguiente fórmula:

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

Siendo:

$$\sigma_l = 175 \cdot f_1 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

M_S : momento máximo en aguas tranquilas.

M_W : momento máximo en olas.

Los momentos en aguas tranquilas se definen según las siguientes expresiones:

- Situación de arrufo:

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

$$M_{Sarrufo} = -0,065 \cdot 10,75 \cdot 323,8^2 \cdot 60 \cdot (0,835 + 0,7)$$

$$\mathbf{M_{Sarrufo} = -6.747.379,54 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

- Situación de quebranto:

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

$$M_{Squebranto} = 10,75 \cdot 323,8^2 \cdot 60 \cdot (0,122 - 0,015 \cdot 0,835)$$

$$\mathbf{M_{Squebranto} = 7.403.351,292 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

El DNV marca el método de cálculo de momento por olas:

- Situación de arrufo:

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

- Situación de quebranto:

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

En ambas situaciones, los parámetros serán los mismos:

- $C_W = 10,75$
- $f_r = 0,85$
- $f_{nl-vs} = 1$
- $f_m = 1$
- $f_p = 1$

Por tanto:

- Situación de arrufo:

$$M_{Warrufo} = -0,19 \cdot \frac{0,85}{0,85} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10,75 \cdot 323,8^2 \cdot 60 \cdot 0,835$$

$$\mathbf{M_{Warrufo} = -10.728.857,57 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

- Situación de quebranto:

$$M_{Wquebranto} = 0,19 \cdot \frac{0,85}{0,85} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10,75 \cdot 323,8^2 \cdot 60 \cdot 0,835$$

$$\mathbf{M_{Wquebranto} = 10.728.857,57 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Tras los cálculos preliminares realizados en este apartado, el módulo requerido será aquel que reúna las dos condiciones más desfavorables. En este caso:

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

Donde:

$$M_S = M_{Squebranto} = 7.403.351,292 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_W = M_{Wquebranto} = 10.728.857,57 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Por tanto, el módulo requerido será:

$$Z_0 = \frac{|7403351,292 + 10728857,57|}{175} \cdot 10^3$$

$$Z_0 = 103.612.622,1 \text{ cm}^3$$

**Este valor se comprobará con el real calculado al final del presente cuaderno.*

3.3 Momento de inercia.

El momento de inercia se obtiene a partir del DNV, concretamente en el DNV Part3, Chapter 5, Section 2 [1.5.2]:

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

Donde:

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

$$I = 3 \cdot 1 \cdot 10,75 \cdot 323,8^3 \cdot 60 \cdot (0,835 + 0,7) \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$I = 1.008,37 \text{ m}^4$$

4 ESCANTILLONADO EN LA CUADERNA.

Durante este subapartado del cuaderno VIII se realizará el escantillonado y dimensionamiento de la cuaderna maestra del buque proyecto, para lo cual utilizaremos, como dice la RPA, el reglamento de DNV.

Como ya se concretó en el cuaderno 4, la separación entre cuadernas en las zonas de popa y proa será de 700 mm, mientras que, en el cuerpo cilíndrico, es decir, la zona de carga, existirá una separación de 1000 mm. Se compone en un total de 385 cuadernas.

La separación se mantendrá tanto en el doble fondo como en los costados en lo que corresponde a cuadernas y refuerzos longitudinales.

4.1 Materiales.

Con respecto a los materiales estructurales, se establecen un acero normal para el fondo y el doble fondo, así como acero de alta resistencia en cubierta y zonas de alto costado.

Las propiedades específicas son:

MATERIALES	LÍMITE ELÁSTICO	FACTOR DE ACERO KL
Acero Normal	235 N/mm ²	1
Acero de Alta Resistencia	460 N/mm ²	0,62

4.2 Escantillonado del fondo.

4.2.1 Altura del doble fondo.

La altura del doble fondo ya se definió en su momento según la sociedad de clasificación DNV, por tanto, en las fases iniciales del proyecto ya se acertó en su elección. El reglamento dice tal que así:

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

$$h_{DF} = 1000 \cdot \frac{60}{20}$$

$$h_{DF} = 3000 \text{ mm}$$

Como podemos observar, la definición del doble fondo corresponde a la vista en anteriores cuadernos, por tanto, mantenemos la misma altura.

4.2.2 Presiones del fondo.

Vamos a definir la expresión de la presión en el fondo de la siguiente manera:

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

Donde:

P_S : presión estática hidrodinámica.

P_W : presión dinámica hidrodinámica.

4.2.2.1 Presión estática hidrodinámica.

Para calcular este parámetro, el DNV nos facilita su formulación en DNV Part 3, Chapter 4, Section 5, [1.2]:

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

Donde:

T_{LC} : calado de escantillonado (22m).

z : profundidad (donde $z=0$ corresponde al fondo).

Por tanto:

$$P_S = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (22 - 0)$$

$$P_S = 221,22 \frac{kN}{m^2}$$

4.2.2.2 Presión dinámica hidrodinámica.

La presión dinámica será la máxima de los dos valores que se calculan a continuación:

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

Donde:

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

Donde los términos se definen como:

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

Como la condición de carga aún no se ha definido $\rightarrow f_T = 1$

$$C_{ft} = 1 + 0,5 - (0,7 \cdot 1 - 0,2) \cdot 0,835 \rightarrow C_{ft} = 1,0825$$

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

➤ f_{yb} se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot y|}{B_x}$$

Se toma el valor de y como valor arbitrario ($y = 10$), por tanto:

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot 10|}{60}$$

$$f_{yb} = 0,33$$

➤ El valor de C_x será:

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

Donde x se toma como el punto a mitad de eslora de manera aleatoria, pues las abscisas en el fondo no afectan al resultado final. Así pues:

$$C_x = 1,5 - \frac{|161,9 - 0,5 \cdot 323,8|}{323,8}$$

$$C_x = 1,5$$

➤ Definimos entonces el valor de F_{yz} :

$$F_{yz} = 1,5 \cdot \frac{0}{22} + (2 - 1,5) \cdot 0,33 + 1$$

$$F_{yz} = \mathbf{1,165}$$

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

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

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

○ $f_{nl} \rightarrow$ Depende del factor f_{xL} , que se define como:

$$f_{xL} = \frac{x}{L_{SC}} = \frac{161,9}{323,8}$$

$$f_{xL} = 0,5 \rightarrow f_{nl} = \mathbf{0,9}$$

○ $k_a \rightarrow$ Dependerá nuevamente del valor de f_{xL} :

$$\text{Si } 0,15 \leq f_{xL} < 0,7 \rightarrow k_a = \mathbf{1}$$

○ $\lambda = 0,6 \cdot (a + f_T) \cdot L$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 323,8$$

$$\lambda = \mathbf{388,56}$$

○ $k_p \rightarrow$ según el DNV, lo sacamos de la siguiente tabla:

Table 3 Definition of phase coefficient K_p

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

Por tanto, para este caso $\rightarrow k_p = \mathbf{1}$

Finalmente podemos desarrollar la expresión de la presión dinámica definida al principio del apartado:

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

$$P_{hs} = 1,0825 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,165 \cdot 10,75 \cdot \sqrt{\frac{323,8 + 388,56 - 125}{388,56}}$$

$$P_{hs} = \mathbf{24,91 \frac{KN}{m^2}}$$

Recordando la formulación del principio del apartado:

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

Por tanto, debemos de calcular el segundo factor:

$$\rho g(z - T_{LC}) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (0 - 22) = -221,22 \frac{KN}{m^2}$$

Así pues:

$$P_W = \max(-24,95; -221,22)$$

$$P_W = -24,95 \frac{KN}{m^2}$$

Por último, volviendo a las ecuaciones iniciales de presión de fondo:

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

$$P_{ex} = 221,22 - 24,95$$

$$P_{ex} = 196,27 \frac{KN}{m^2}$$

4.2.3 Plancha del fondo.

La chapa de fondo sirve fundamentalmente tanto para mantener la estanqueidad como para soportar los esfuerzos de empuje del agua y distribuir las tensiones hacia los refuerzos secundarios.

Según el reglamento (DNV Part 3, Chapter 3, Section 5) el cálculo para saber la longitud mínima de chapa es el siguiente:

$$b_{chapa f} = (800 + 5 \cdot L_{SC}) \cdot 10^{-3}$$

$$b_{chapa f} = (800 + 5 \cdot 323,8) \cdot 10^{-3}$$

$$b_{chapa f} = 2,459 m \approx 2,5 m$$

4.2.3.1 Espesor mínimo para la chapa de fondo.

Según el DNV:

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

Donde para el fondo los valores son:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,035$$

$$k \rightarrow \text{depende del tipo de acero, en este caso será } 1 \left(\text{acero de } 235 \frac{N}{mm^2} \right)$$

Por tanto:

$$t = 4,5 + 0,035 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t = 15,83 mm$$

4.2.3.2 Espesor requerido por ser chapa de fondo.

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

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

Donde:

$$\alpha_p = 1,041$$

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$C_a = 0,8$$

$$R_{eH} = 235$$

$$P = 196,27 \frac{KN}{m^2}$$

Por tanto:

$$t_{chapf} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{|196,27|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{chapf} = 14,28 \text{ mm}$$

Así pues, finalmente se tendrá una longitud y espesor de chapa de 2,5 m y 16 mm respectivamente.

4.2.4 Traca de pantoque.

Para definir la traca de pantoque debemos recurrir al DNV, Part 3, Chapter 6, Section 5, que dice:

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

Donde para el fondo los valores son:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,035$$

$$k \rightarrow \text{depende del tipo de acero, en este caso será } 1 \left(\text{acero de } 235 \frac{N}{mm^2} \right)$$

Por tanto:

$$t = 4,5 + 0,035 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t = 15,83 \text{ mm}$$

El reglamento establece, debido a la presencia de la traca en pantoque, se ha de tener un requerimiento particular:

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

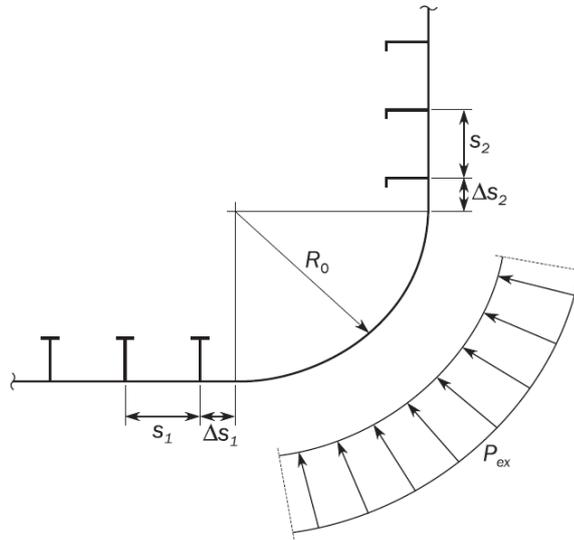
Donde los valores son:

R: radio efectivo de pantoque en milímetros. Se define como:

$$R = R_0 + 0,5 \cdot (\Delta_{S1} + \Delta_{S2})$$

R₀: radio de curvatura del pantoque en milímetros, en nuestro caso es de 5540 mm.

Δ_{s1} y Δ_{s2} se definen en la siguiente imagen:



En nuestro caso:

$$\Delta_{s1} = 1400$$

$$\Delta_{s2} = 1830$$

Por tanto, el radio efectivo de pantoque será:

$$R = 5540 + 0,5 \cdot (1400 + 1830)$$

$$\mathbf{R = 7155 \text{ mm}}$$

s_b : se refiere a la separación de los elementos transversales. En nuestro caso, en el cuerpo cilíndrico habíamos decidido poner una bulárcama cada cuatro cuadernas, lo que equivale a 5 claras de cuaderna, lo cual en nuestro buque son 5000 mm.

P_{ext} : presión exterior calculada en el apartada anterior (196,27 KN/m²).

Así pues, el espesor quedará como:

$$t_{pantoque} = 6,45 \cdot 10^{-4} \cdot (196,27 \cdot 5000)^{0,4} \cdot 7155^{0,6}$$

$$\mathbf{t_{pantoque} = 33,04 \text{ mm}}$$

Visto esto, el reglamento establece que los espesores de las chapas de pantoque no pueden ser menores que los de las chapas contiguas, en este caso, claramente será mayor y se establece en 34 mm.

4.2.5 Quilla.

Definimos la quilla como el elemento estructural situado en el fondo siguiendo la línea de crujía. Dicho elemento contribuye a soportar las tensiones de la resistencia longitudinal así como a distribuir los esfuerzos locales.

El ancho de la quilla se define en el DNV Part 3, Chapter 3, Section 5:

$$b_0 = 0,8 + \frac{L_{SC}}{200}$$

$$b_0 = 0,8 + \frac{323,8}{200}$$

$$\mathbf{b_0 = 2,419 m \approx 2,5 m}$$

Con respecto al espesor:

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

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,05$$

$k \rightarrow$ equivale a 1, como ya vimos en apartados anteriores.

$$L_{SC} = 323,8 m$$

Por tanto:

$$t = 5 + 0,05 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$\mathbf{t = 21,19 mm}$$

La chapa de quilla por tanto se definirá en términos de longitud con 2,5 metros, y en términos de espesor en 22 mm.

4.2.6 Longitudinales de fondo.

En este subapartado nos ceñiremos a los refuerzos longitudinales, los cuales se colocan paralelos a crujía y sus funciones son, en resumen:

- Soportar el forro exterior del casco evitando inestabilidades elásticas como el pandeo, así como su contribución a la resistencia longitudinal del casco.
- Repartir los esfuerzos a la estructura restante a través de la estructura transversal.

4.2.6.1 Módulo requerido.

El módulo requerido se define mediante 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:

$$C_s = 0,6$$

$$l_{bdg} = 2,25 m$$

$$f_{bdg} = 12 \rightarrow \text{para refuerzos horizontales}$$

$$f_u = 1,03 \rightarrow \text{para perfiles tipo llanta bulbo}$$

$$R_{eH} = 235 \rightarrow \text{según la resistencia del acero}$$

$$s = 850 mm \rightarrow \text{separación de refuerzos}$$

$$P = 196,27 \frac{KN}{m^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |196,27| \cdot 850 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$
$$Z = 514,13 \text{ cm}^3$$

Si accedemos al catálogo que se adjunta en el anexo I, el perfil escogido será de tipo llanta de bulbo de sección 280x11 mm, cuyo modulo resistente será de 566 cm³.

4.3 Escantillonado de doble fondo.

4.3.1 Plancha de doble fondo.

Las tracas longitudinales unidas al resto de la estructura es lo que define el doble fondo. Las utilidades más importantes del doble fondo son su contribución a la resistencia longitudinal y transversal del buque y la creación de una superficie plana que nos permitirá acomodar mejor la carga.

Se calculará el espesor de forma análoga a los anteriores:

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

Donde los términos de la ecuación son:

$$a = 5,5$$

$$b = 0,025$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{doble\ fondo} = 5,5 + 0,025 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$
$$t_{doble\ fondo} = 13,60 \text{ mm}$$

Ahora calcularemos el espesor de la chapa de doble fondo en función de las presiones de los tanques de agua de lastre, el cual se calculará mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$$\alpha_p = 1,041$$

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$C_a = 0,8$$

$$R_{eH} = 235$$

Con respecto a la presión, se calcula de la siguiente forma:

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

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

Donde:

$$\rho = 1,025 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$P_{drop} = 0 \text{ (dado que el tanque no desborda)}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$z = 3 \text{ m (altura doble fondo)}$$

$$z_{top} = 26,5 \text{ m (altura de los tanques de lastre)}$$

Así pues, sustituimos en la ecuación inicial:

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

$$P_{ls \text{ doble fondo}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (26,5 - 3 + 0) + 0$$

$$P_{ls \text{ doble fondo}} = 236,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Para el cálculo de P_{ld} será necesario una serie de parámetros que se muestran a continuación:

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

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:

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

$$a_{pitch} = f_p \left(1.75 - \frac{2.2}{\sqrt{gL}} \right) \varphi_{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad L \geq 150 \text{ m}$$

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

$$a_{sway} = 0.3 \left(2.25 - \frac{2.0}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_{\theta g}$$

Realizamos os cálculos en EXCEL de forma que:

Parámetro	Valor
a0	0,27628937
Θroll	21,2939803
Tøroll	18,0549484
a sway	0,35760199
a heave	0,83741105
a pitch	1,74206726
a roll	0,04500922
a surge	0,88175478
φ pitch	7,34015515
Tφ pitch	15,7755488
λ	388,56
Aceleraciones	
ax	-12,0166493
ay	0
az	0,83741105

Por tanto, la presión a calcular será:

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

$$P_{td \text{ doble fondo}} = 0,88 \cdot (0,84 \cdot (12,5 - 3) + 0,67 \cdot (-12,02) \cdot (145,71 - 0) + 0,67 \cdot 0 \cdot (0 - 0))$$

$$P_{td \text{ doble fondo}} = -1025,62 \frac{N}{m^2} \approx -1 \frac{kN}{m^2}$$

Así pues, tras todos lo cálculos anteriores tenemos que:

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

$$P = P_{int} = 236,30 - 1$$

$$P = 235,30 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, el espesor quedará como:

$$t_{doble \text{ fondo}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{|235,30|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{doble \text{ fondo}} = 15,64 \text{ mm} \approx 16 \text{ mm}$$

Así pues, se establece el espesor de las chapas de fondo en 16 mm.

4.3.2 Longitudinales del doble fondo.

Para el cálculo del módulo utilizamos la siguiente expresión:

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

Donde:

$$C_s = 0,6$$

$$l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$$

$$f_{bdg} = 12 \text{ (para refuerzos horizontales)}$$

$$f_u = 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$s = 850 \text{ mm}$$

$$P = 235,30 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |235,3| \cdot 850 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 616,372 \text{ cm}^3$$

Se escoge entonces un refuerzo de tipo llanta de bulbo de 300x11, cuyo módulo resistente es de 671 cm³ (Anexo I).

4.3.3 Vagras estancas.

El cálculo de espesor de la vagra central se calcula como mamparo, por tanto, debemos acudir a el DNV Part 3, Chapter 6, Section 3:

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

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,03$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{vagra \text{ central}} = 5 + 0,03 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{vagra \text{ central}} = 14,714 \text{ mm}$$

4.3.4 Vagras no estancas.

En este caso se utiliza la misma formulación que en el apartado anterior, solo que cambiando los parámetros para el caso.

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

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,017$$

$$L_{SC} = 323,8\ m$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{vagra\ lateral} = 5 + 0,017 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$\mathbf{t_{vagra\ lateral} = 10,5\ mm}$$

En el caso del DNV se requiere, además, lo siguiente:

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

$$t_{vagra\ lateral} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{|196,27|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$\mathbf{t_{vagra\ lateral} = 14,28\ mm}$$

Como este último resultado es mayor, se escogen como espesor de las vagras no estancas o laterales 14,28 mm.

La altura de las vagras será la del doble fondo, por tanto, será de 3500 mm.

4.3.5 Varengas.

Se define como los refuerzos primarios que actúan en el sentido transversal del fondo del buque. Se hará un procedimiento de cálculo de varengas generales dado que estamos en fase de dimensionamiento. Según el reglamento:

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

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,017$$

$$L_{SC} = 323,8\ m$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{varenga} = 5 + 0,017 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{varenga} = 10,5 \text{ mm}$$

4.4 Escantillonado de la cubierta.

4.4.1 Presión en cubierta.

Se determina la presión a partir de la siguiente expresión:

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

Donde:

$$P_{dmin} = 34,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ (lo establece el reglamento)}$$

$$z = 30 \text{ (altura cubierta donde se realizan los cálculos)}$$

$$z_{dk} = 30 \text{ (altura de la cubierta principal)}$$

$$P_{wd} = 0 \text{ (lo establece el reglamento en Part 3, Chapter 4)}$$

Por tanto:

$$P_d = 34,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4.4.2 Plancha de la cubierta.

De forma análoga a lo visto ya en muchos apartados de este cuaderno, se calcula el espesor como:

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

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,02$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{cubierta} = 4,5 + 0,02 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{cubierta} = 10,98 \text{ mm}$$

Los requisitos según el DNV son, a mayores:

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

$$t_{cubierta} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{|34,3|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{cubierta} = 5,97 \text{ mm}$$

Nos quedamos con le más desfavorable, por tanto, el espesor será de 11 mm.

4.4.3 Longitudinales de la cubierta resistente.

El módulo se define con la siguiente expresión:

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

Donde:

$$C_s = 0,6$$

$$l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$$

$$f_{bdg} = 12 \text{ (para refuerzos horizontales)}$$

$$f_u = 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$s = 850 \text{ mm}$$

$$P = 34,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |34,3| \cdot 850 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 89,85 \text{ cm}^3$$

Así pues, el perfil de llanta de bulbo escogido será el de 140x9, el cual tiene un módulo de 93 cm³.

4.5 Escantillonado de costado.

4.5.1 Presión de costado sumergido.

Se determina esta presión en el DNV, Part 3, Chapter 4:

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

Se calculan a continuación.

4.5.1.1 Presión estática de costado sumergido.

Se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{estatica \text{ de costado sumergido}} = \rho \cdot g \cdot (T_{SC} - z)$$

Donde:

$$\rho = 1,025 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T_{SC} = 22 \text{ m}$$

$$z = 3,7 \text{ m (altura hasta la terminación de la traca de pantoque)}$$

Por tanto:

$$P_{estatica\ de\ costado\ sumergido} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (22 - 3,7)$$

$$P_{estatica\ de\ costado\ sumergido} = 184,01 \frac{kN}{m^2}$$

4.5.1.2 Presión dinámica del costado sumergido.

En el caso de la presión dinámica se define mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

$$\rho \cdot g \cdot (z - T_{sc}) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (3,7 - 22) = -184,01 \frac{kN}{m^2}$$

Por otro lado, el valor de P_{hs} :

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

Donde los términos se definen como:

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

Como la condición de carga aún no se ha definido $\rightarrow f_T = 1$

$$C_{ft} = 1 + 0,5 - (0,7 \cdot 1 - 0,2) \cdot 0,835 \rightarrow C_{ft} = 1,0825$$

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

➤ f_{yb} se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot y|}{B_x}$$

Se toma el valor de y como valor arbitrario ($y = 10$), por tanto:

$$f_{yb} = \frac{|2 \cdot 10|}{60}$$

$$f_{yb} = 0,33$$

➤ El valor de C_x será:

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

Donde x se toma como el punto a mitad de eslora de manera aleatoria, pues las abscisas en el fondo no afectan al resultado final. Así pues:

$$C_x = 1,5 - \frac{|161,9 - 0,5 \cdot 323,8|}{323,8}$$

$$C_x = 1,5$$

➤ Definimos entonces el valor de F_{yz} :

$$F_{yz} = 1,5 \cdot \frac{3,7}{22} + (2 - 1,5) \cdot 0,33 + 1$$

$$F_{yz} = 1,417$$

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

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

$$f_h = 1,65$$

- $f_{nl} \rightarrow$ Depende del factor f_{xL} , que se define como:

$$f_{xL} = \frac{x}{L_{SC}} = \frac{161,9}{323,8}$$

$$f_{xL} = 0,5 \rightarrow f_{nl} = 0,9$$

- $k_a \rightarrow$ Dependerá nuevamente del valor de f_{xL} :

$$\text{Si } 0,15 \leq f_{xL} < 0,7 \rightarrow k_a = 1$$

- $\lambda = 0,6 \cdot (a + f_T) \cdot L$

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 323,8$$

$$\lambda = 388,56$$

- $k_p \rightarrow$ según el DNV, lo sacamos de la siguiente tabla:

Table 3 Definition of phase coefficient k_p

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

Por tanto, para este caso $\rightarrow k_p = 1$

Finalmente podemos desarrollar la expresión de la presión dinámica definida al principio del apartado:

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

$$P_{hs} = 1,0825 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,417 \cdot 10,75 \cdot \sqrt{\frac{323,8 + 388,56 - 125}{388,56}}$$

$$P_{hs} = 30,10 \frac{KN}{m^2}$$

Por tanto:

$$P_w = \max(-30,1; -184,01)$$

$$P_w = -30,1 \frac{kN}{m^2}$$

Y por último:

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

$$P_{ext} = 184,01 - 30,1$$

$$P_{ext} = 153,91 \frac{kN}{m^2}$$

4.5.2 Planchas del forro exterior sobre la flotación.

Par el cálculo del espesor de las planchas del forro exterior utilizaremos nuevamente una formulación parecida a las anteriores:

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

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,025$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{\text{forro exterior sobre flotación}} = 4,5 + 0,025 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{\text{forro exterior sobre flotación}} = \mathbf{12,59 \text{ mm}}$$

Se determina a mayores, según el reglamento, lo siguiente:

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

$$t_{\text{forro exterior requerido}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 900 \cdot \sqrt{\frac{|153,91|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{\text{forro exterior requerido}} = \mathbf{13,39 \text{ mm}}$$

Nos quedaremos con este último dado que es mayor. El espesor del forro exterior no sumergido será de 13,39 mm.

4.5.3 Planchas del forro exterior sumergido.

Nuevamente utilizaremos la misa fórmula que nos facilita el reglamento:

$$t_{\text{forro exterior sumergido}} = a + b \cdot L_{SC} \cdot \sqrt{k}$$

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,035$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{\text{forro exterior sumergido}} = 4,5 + 0,035 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{\text{forro exterior sumergido}} = \mathbf{15,83 \text{ mm}}$$

Se determina a mayores, según el reglamento, lo siguiente:

$$t_{\text{forro exterior sumergido requerido}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot b \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

$$t_{\text{forro exterior sumergido requerido}} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 900 \cdot \sqrt{\frac{|153,91|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{\text{forro exterior sumergido requerido}} = \mathbf{13,39 \text{ mm}}$$

Por tanto, nos quedaremos con un espesor de 13,39 mm siguiendo el mismo criterio que en los apartados anteriores.

4.5.4 Traca de trancanil.

Se calcula a partir de los espesores obtenidos en el costado superior y cubierta, a partir de la siguiente ecuación:

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

$$t_{\text{trancañil}} = \frac{13,39 + 34}{2}$$

$$t_{\text{trancañil}} = \mathbf{23,69 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de la traca de trancañil será de 24 mm.

4.5.5 Planchas del forro exterior.

El escantillonado del forro interior se subdivide en dos partes principales. Por un lado tenemos el cajón de torsión y por otro lado la zona de los tanques de lastre.

4.5.5.1 Cajón de torsión.

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

$$t_{\text{cajón de torsión}} = a + b \cdot L_{SC} \cdot \sqrt{k}$$

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,02$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{\text{forro exterior sobre flotación}} = 4,5 + 0,02 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{\text{forro exterior sobre flotación}} = \mathbf{10,98 \text{ mm}}$$

4.5.5.2 Forro interior en tanques de lastre.

El espesor mínimo será:

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

Donde:

$$\begin{aligned}a &= 4,5 \\b &= 0,02 \\L_{SC} &= 323,8 \text{ m} \\k &= 1\end{aligned}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned}t_{\text{forro interior}} &= 4,5 + 0,02 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1} \\t_{\text{forro interior}} &= \mathbf{10,98 \text{ mm}}\end{aligned}$$

4.5.6 Longitudinales del forro exterior.

El módulo, como ya hemos visto en otros apartados se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

$$\begin{aligned}C_s &= 0,6 \\l_{bdg} &= 2,25 \text{ m} \\f_{bdg} &= 12 \text{ (para refuerzos horizontales)} \\f_u &= 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)} \\R_{eH} &= 235 \\s &= 900 \text{ mm} \\P &= 235,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned}Z &= \frac{1,03 \cdot |235,3| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235} \\Z &= \mathbf{652,63 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

Si accedemos al catálogo del Anexo I escogeremos el perfil llanta de bulbo de 300x11, cuyo módulo resistente es de 671 cm³.

Se calculan ahora los longitudinales para el cajón de torsión:

$$\begin{aligned}Z &= \frac{1,03 \cdot |153,91| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235} \\Z &= \mathbf{426,88 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

Por tanto, en este caso, escogeremos unos perfiles llanta de bulbo de 260x10, cuyo módulo es de 455 cm³.

4.5.7 Longitudinales del forro interior.

El módulo, como ya hemos visto en otros apartados se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

$$C_s = 0,6$$

$$l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$$

$$f_{bdg} = 12 \text{ (para refuerzos horizontales)}$$

$$f_u = 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$s = 900 \text{ mm}$$

$$P = 235,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |235,3| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 652,63 \text{ cm}^3$$

Si accedemos al catálogo del Anexo I escogeremos el perfil llanta de bulbo de 300x11, cuyo módulo resistente es de 671 cm³.

Se calculan ahora los longitudinales para el cajón de torsión:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |153,91| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 426,88 \text{ cm}^3$$

Por tanto, en este caso, escogeremos unos perfiles llanta de bulbo de 260x10, cuyo módulo es de 455 cm³.

4.5.8 Bulárcamas.

Según el reglamento, aplicamos nuevamente la siguiente expresión:

$$t_{bulárcamas} = a + b \cdot L_{SC} \cdot \sqrt{k}$$

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,015$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{bulárcamas} = 4,5 + 0,015 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{bulárcamas} = 9,36 \text{ mm}$$

4.5.9 Palmejares.

De forma análoga a las bulárcamas:

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

Donde:

$$\begin{aligned} a &= 4,5 \\ b &= 0,015 \\ L_{SC} &= 323,8 \text{ m} \\ k &= 1 \end{aligned}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} t_{palmejares} &= 4,5 + 0,015 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1} \\ t_{palmejares} &= \mathbf{9,36 \text{ mm}} \end{aligned}$$

4.6 Escantillonado de los mamparos.

4.6.1 Planchas mamparos longitudinales.

Según el capítulo 6 de la parte 3 del DNV, concretamente en el punto 1.2.2, el espesor de los mamparos longitudinales vendrá dado por la siguiente expresión:

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

Donde:

$$\begin{aligned} \alpha_p &= 1,2 - \frac{b}{2,1 \times a} \\ b &: \text{ancho del panel (900 mm)} \\ a &: \text{longitud del panel (2250 mm)} \\ \alpha_p &= 1,009 \\ C_a &= 0,9 \end{aligned}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} t_{mamparo} &= 0,0158 \cdot 1,009 \cdot 900 \cdot \sqrt{\frac{|235,3|}{0,9 \cdot 235}} \\ t_{mamparo} &= 15,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Así pues, los mamparos longitudinales tendrán un espesor de 16 mm.

4.6.2 Refuerzos mamparo longitudinal.

Aplicamos la misma formulación de módulo de forma análoga a apartados anteriores.:

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

Donde:

$$\begin{aligned} C_s &= 0,6 \\ l_{bdg} &= 2,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$f_{bdg} = 12 \text{ (para refuerzos horizontales)}$$

$$f_u = 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$s = 900 \text{ mm}$$

$$P = 235,3 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |235,3| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 652,628 \text{ cm}^3$$

Si accedemos al catálogo del Anexo I escogeremos el perfil tipo llanta de bulbo de 300x11, cuyo módulo resistente es de 671 cm³.

4.6.3 Planchas del mamparo transversal.

Se utilizará la siguiente expresión:

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

Donde:

$$\alpha_p = 1,041$$

$$b = 900 \text{ mm}$$

$$C_a = 0,8$$

$$R_{eH} = 235$$

$$P = 235,3 \frac{KN}{m^2}$$

Por tanto:

$$t_{mamparo} = 0,0158 \cdot 1,041 \cdot 900 \cdot \sqrt{\frac{|235,3|}{0,8 \cdot 235}}$$

$$t_{mamparo} = 16,56 \text{ mm}$$

Así pues, la chapa del mamparo transversal tendrá un espesor de 17 mm.

4.6.4 Refuerzos mamparo transversal.

Se emplea la fórmula del módulo:

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

Donde:

$$C_s = 0,6$$

$$l_{bdg} = 2,25 \text{ m}$$

$$f_{bdg} = 12 \text{ (para refuerzos horizontales)}$$

$$f_u = 1,03 \text{ (para perfiles tipo llanta bulbo)}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$s = 900 \text{ mm}$$

$$P = 235,3 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$Z = \frac{1,03 \cdot |235,3| \cdot 900 \cdot 2,25^2}{12 \cdot 0,6 \cdot 235}$$

$$Z = 652,63 \text{ cm}^3$$

Si accedemos al catálogo del Anexo I escogeremos el perfil tipo llanta de bulbo de 300x11, cuyo módulo resistente es de 671 cm³.

4.6.5 Mamparo transversal estanco.

Según lo visto en el reglamento, aplicaremos nuevamente la siguiente expresión:

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

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,01$$

$$L_{SC} = 323,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{\text{mamparo transversal estanco}} = 4,5 + 0,01 \cdot 323,8 \cdot \sqrt{1}$$

$$t_{\text{mamparo transversal estanco}} = 7,74 \text{ mm}$$

5 RESUMEN DE ESCANTILLONADO.

ELEMENTOS		ESPEORES (mm)	
FONDO	Traca del fondo		16
	Traca del pantoque		34
	Quilla	Fondo	22
DOBLE FONDO	Plancha de doble fondo		16
	Vagras	Estancas	15
		No estancas	15
	Varengas estancas		11
CUBIERTA	Cubierta resistente		11
COSTADO	Forro exterior	No sumergido	14
		Sumergido	16
		Traca de trancañil	24
	Forro interior	Cajón de torsión	11
		Tanques de lastre	11
	Palmejares		10
	Bulárcamas		10
MAMPARO TRANSVERSAL		17	
MAMPARO LONGITUDINAL		16	

**Destacar que en esta tabla se han redondeado a la alta los espesores calculados durante el cuaderno con el fin de evitar errores en el cálculo manual y establecer cierto margen de seguridad.*

REFUERZOS					
ZONA	ELEMENTO	MÓDULO (cm ³)	PERFIL	MÓDULO DEL PERFIL (cm ³)	ÁREA (cm ²)
FONDO	Longitudinales de fondo	514,13	280x11	566	42,6
DOBLE FONDO	Longitudinales de doble fondo	616,37	300x11	671	46,7
CUBIERTA	Longitudinales de cubierta resistente	89,85	140x9	93	15,2
COSTADO	Longitudinales del forro exterior (cajón de torsión)	426,88	260x10	455	36,1
	Longitudinales del forro exterior (tanques de lastre)	652,63	300x11	671	46,7
	Longitudinales de forro interior (cajón de torsión)	426,88	260x10	455	36,1
	Longitudinales de forro interior (tanques de lastre)	652,63	300x11	671	46,7
MAMPAROS TRANSVERSALES		652,63	300x11	671	46,7
MAMPAROS LONGITUDINALES		652,63	300x11	671	46,7

6 CÁLCULO DEL MÓDULO Y DE LA INERCIA.

Una vez conocidos todos los datos de la cuaderna maestra, es necesario hacer el cálculo del módulo resistente de dicha cuaderna. Para ello se necesita saber todos aquellos momentos que participan en la resistencia longitudinal.

Las ecuaciones que se verán en este apartado son:

- Inercia propia:

$$I_0 = \frac{1}{12} \times b \times h_{eq}^3 = \frac{1}{12} \times Area \times h_{eq}^3$$

- Posición del eje neutro:

$$Y_f = \frac{\sum A \times Y_G}{\sum A}$$

- Módulo en el fondo:

$$W_F = \frac{I}{Y_F}$$

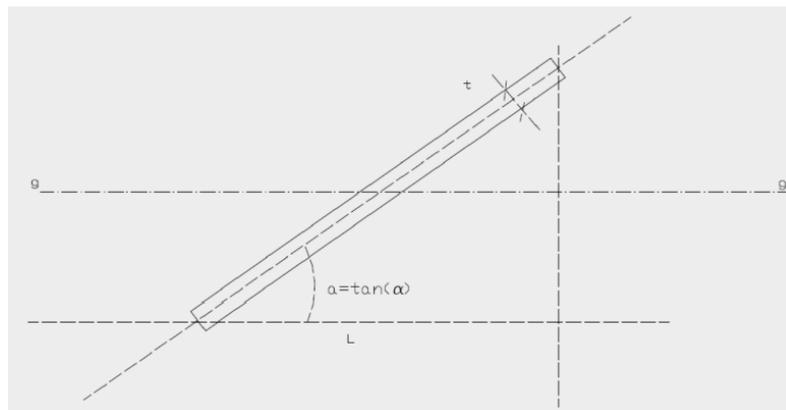
- Módulo en cubierta:

$$W_C = \frac{I}{Y_C}$$

- Inercia de la sección maestra:

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

- Para planchas inclinadas:



$$I_0 = \frac{1}{12} \times t \times a \times (1 + a^2) \times L^2$$

En nuestro caso:

$$t = 0.016 \text{ m}$$

$$a = \tan(43^\circ) = 0.9325$$

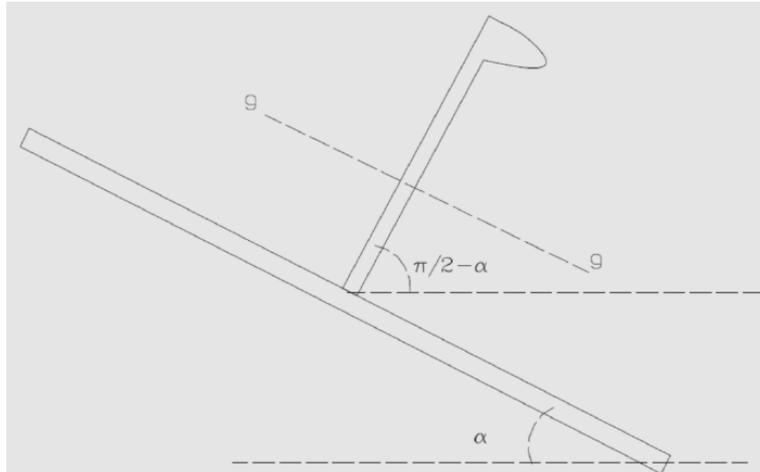
$$L = 4.9 \text{ m}$$

Por tanto:

$$I_0 = \frac{1}{12} \times 0.016 \times 0.9325 \times (1 + 0.9325^2) \times 4.9^2$$

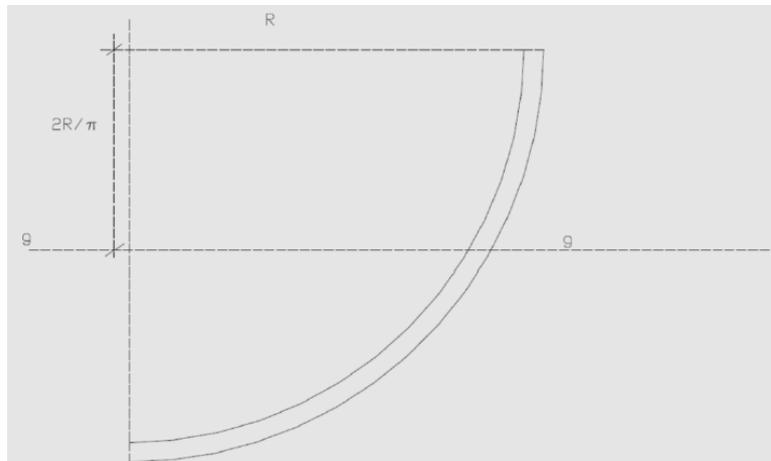
$$I_0 = 0.0558 \text{ m}^4$$

- Para los refuerzos sobre planchas inclinadas se procede de forma similar:



En este caso, para el cálculo final de I_0 se obtiene la altura equivalente pero después se multiplica por $\text{sen}(\alpha - \frac{\pi}{2})$.

- Para las planchas de pantoque:



$$I_0 = \frac{1}{4 \times \pi} \times R^3 \times (\pi^2 - 8) \times t$$

En nuestro caso, el pantoque no es exactamente una circunferencia, aunque sí se aproxima mucho a una circunferencia de un radio de 3 metros. Normalmente el pantoque se aproxima a una circunferencia para facilitar la construcción. Por tanto, para este caso, la inercia quedaría como:

$$I_0 = \frac{1}{4 \times \pi} \times 3^3 \times (\pi^2 - 8) \times 0,034$$

$$I_0 = 0,137 \text{ m}^4$$

A continuación, adjuntamos los cálculos en Excel de todas las partidas que corresponden al módulo e inercia, primero en lo que a chapas se refiere y a continuación los refuerzos:

ZONA	CHAPAS	Nº	Ancho (m)	Alto (m)	Area (m ²)	yg (m)	YG (m)	A*YG (m ³)	A*YG ² (m ⁴)	Ip (m ⁴)	It (m ⁴)
FONDO	Tracas del fondo	2	27,400	0,016	0,877	0,008	0,008	0,007	0,000	0,0005845	0,001
	Tracas de fondo inclinado	2	6,650	0,016	0,213	2,250	5,750	1,224	7,036	0,0558108	14,183
	Traca de pantoque	2	-	-	1,274	0,890	0,890	1,134	1,009	0,1370000	1,146
	Quilla	2	2,550	0,022	0,112	0,011	0,011	0,001	0,000	0,0001029	0,000
	Plancha de doble fondo	2	22,100	0,016	0,707	0,008	3,508	2,481	8,703	0,0004715	8,703
	Vagras estancas	2	0,015	3,5	0,105	1,750	1,750	0,184	0,322	0,0153125	0,337
	Vagras no estancas	16	0,015	3,5	0,840	1,750	1,750	1,470	2,573	0,0153125	2,588
CUBIERTA	Cubierta resistente	2	30,120	0,012	0,723	0,006	31,500	22,771	717,278	0,0003614	717,278
COSTADO	Planchas Forro Interior	2	0,011	18,900	0,416	11,550	19,550	8,129	158,920	0,3274425	159,247
	Cajón de Torsión Interior	2	0,011	4,200	0,092	2,100	29,000	2,680	77,708	0,0161700	77,725
	Planchas Forro Exterior Expuesto	2	0,014	9,000	0,252	4,500	26,500	6,678	176,967	0,0945000	177,062
	Planchas Forro Exterior Sumergido	2	0,016	19,130	0,612	9,565	12,435	7,612	94,658	0,4879425	95,146
	Cajón de Torsión Exterior	2	0,024	4,100	0,197	2,050	28,950	5,697	164,939	0,0336200	164,972
	Vagra (z=8)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	8,008	0,721	5,771	0,0000563	5,771
	Vagra (z=10,7)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	10,708	0,964	10,319	0,0000563	10,319
	Vagra (z=13,4)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	13,408	1,207	16,178	0,0000563	16,179
	Vagra (z=16,1)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	16,108	1,450	23,351	0,0000563	23,351
	Vagra (z=18,8)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	18,808	1,693	31,835	0,0000563	31,835
	Vagra (z=21,5)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	21,508	1,936	41,632	0,0000563	41,632
	Vagra (z=24,2)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	24,208	2,179	52,740	0,0000563	52,740
	Vagra (z=26,9)	2	3,000	0,015	0,090	0,008	26,908	2,422	65,161	0,0000563	65,161
	MAMPARO LONGITUDINAL	Mamparo	2	0,016	28,200	0,902	14,100	17,600	15,882	279,527	1,0603200
				TOTAL	8,042			88,519	1936,625		1945,962

ZONA	REFUERZOS	Nº	Área Refuerzo (m ²)	Área Total (m ²)	YG (m)	A*YG (m ³)	A*YG ² (m ⁴)	Ip (m ⁴)	It (m ⁴)
FONDO	Longitudinales de fondo	64	0,00426	0,273	0,140	0,038	0,005	0,0021312	0,007
	Longitudinales de doble fondo	52	0,00467	0,243	3,350	0,814	2,725	0,0021788	2,727
	Longitudinales de doble fondo inclinado	14	0,00467	0,065	5,750	0,376	2,162	0,0005866	2,162
CUBIERTA	Longitudinales de cubierta	66	0,00152	0,100	31,500	3,160	99,543	0,0001921	99,543
FORRO INTERIOR	Longitudinal Forro Interior 1	2	0,00467	0,009	8,000	0,075	0,598	0,0000838	0,598
	Longitudinal Forro Interior 2	2	0,00467	0,009	8,900	0,083	0,740	0,0000838	0,740
	Longitudinal Forro Interior 3	2	0,00467	0,009	9,800	0,092	0,897	0,0000838	0,897
	Longitudinal Forro Interior 4	2	0,00467	0,009	10,700	0,100	1,069	0,0000838	1,069
	Longitudinal Forro Interior 5	2	0,00467	0,009	11,600	0,108	1,257	0,0000838	1,257
	Longitudinal Forro Interior 6	2	0,00467	0,009	12,500	0,117	1,459	0,0000838	1,459
	Longitudinal Forro Interior 7	2	0,00467	0,009	13,400	0,125	1,677	0,0000838	1,677
	Longitudinal Forro Interior 8	2	0,00467	0,009	14,300	0,134	1,910	0,0000838	1,910
	Longitudinal Forro Interior 9	2	0,00467	0,009	15,200	0,142	2,158	0,0000838	2,158
	Longitudinal Forro Interior 10	2	0,00467	0,009	16,100	0,150	2,421	0,0000838	2,421
	Longitudinal Forro Interior 11	2	0,00467	0,009	17,000	0,159	2,699	0,0000838	2,699
	Longitudinal Forro Interior 12	2	0,00467	0,009	17,900	0,167	2,993	0,0000838	2,993
	Longitudinal Forro Interior 13	2	0,00467	0,009	18,800	0,176	3,301	0,0000838	3,301
	Longitudinal Forro Interior 14	2	0,00467	0,009	19,700	0,184	3,625	0,0000838	3,625
	Longitudinal Forro Interior 15	2	0,00467	0,009	20,600	0,192	3,964	0,0000838	3,964
	Longitudinal Forro Interior 16	2	0,00467	0,009	21,500	0,201	4,317	0,0000838	4,317
	Longitudinal Forro Interior 17	2	0,00467	0,009	22,400	0,209	4,686	0,0000838	4,687
	Longitudinal Forro Interior 18	2	0,00467	0,009	23,300	0,218	5,071	0,0000838	5,071
	Longitudinal Forro Interior 19	2	0,00467	0,009	24,200	0,226	5,470	0,0000838	5,470
	Longitudinal Forro Interior 20	2	0,00467	0,009	25,100	0,234	5,884	0,0000838	5,884
	Longitudinal Forro Interior 21	2	0,00467	0,009	26,000	0,243	6,314	0,0000838	6,314
	Longitudinal Forro Interior 22	2	0,00467	0,009	26,900	0,251	6,759	0,0000838	6,759
Longitudinal Cajón de Torsión 1	2	0,00361	0,007	27,800	0,201	5,580	0,0000486	5,580	
Longitudinal Cajón de Torsión 2	2	0,00361	0,007	28,700	0,207	5,947	0,0000486	5,947	
Longitudinal Cajón de Torsión 3	2	0,00361	0,007	29,600	0,214	6,326	0,0000486	6,326	
Longitudinal Cajón de Torsión 4	2	0,00361	0,007	30,500	0,220	6,716	0,0000486	6,716	

FORRO EXTERIOR	Longitudinal Forro Exterior 1	2	0,00467	0,00934	3,5	0,033	0,114	0,0000838	0,114
	Longitudinal Forro Exterior 2	2	0,00467	0,00934	4,4	0,041	0,181	0,0000838	0,181
	Longitudinal Forro Exterior 3	2	0,00467	0,00934	5,3	0,050	0,262	0,0000838	0,262
	Longitudinal Forro Exterior 4	2	0,00467	0,00934	6,2	0,058	0,359	0,0000838	0,359
	Longitudinal Forro Exterior 5	2	0,00467	0,00934	7,1	0,066	0,471	0,0000838	0,471
	Longitudinal Forro Exterior 6	2	0,00467	0,00934	8	0,075	0,598	0,0000838	0,598
	Longitudinal Forro Exterior 7	2	0,00467	0,00934	8,9	0,083	0,740	0,0000838	0,740
	Longitudinal Forro Exterior 8	2	0,00467	0,00934	9,8	0,092	0,897	0,0000838	0,897
	Longitudinal Forro Exterior 9	2	0,00467	0,00934	10,7	0,100	1,069	0,0000838	1,069
	Longitudinal Forro Exterior 10	2	0,00467	0,00934	11,6	0,108	1,257	0,0000838	1,257
	Longitudinal Forro Exterior 11	2	0,00467	0,00934	12,5	0,117	1,459	0,0000838	1,459
	Longitudinal Forro Exterior 12	2	0,00467	0,00934	13,4	0,125	1,677	0,0000838	1,677
	Longitudinal Forro Exterior 13	2	0,00467	0,00934	14,3	0,134	1,910	0,0000838	1,910
	Longitudinal Forro Exterior 14	2	0,00467	0,00934	15,2	0,142	2,158	0,0000838	2,158
	Longitudinal Forro Exterior 15	2	0,00467	0,00934	16,1	0,150	2,421	0,0000838	2,421
	Longitudinal Forro Exterior 16	2	0,00467	0,00934	17	0,159	2,699	0,0000838	2,699
	Longitudinal Forro Exterior 17	2	0,00467	0,00934	17,9	0,167	2,993	0,0000838	2,993
	Longitudinal Forro Exterior 18	2	0,00467	0,00934	18,8	0,176	3,301	0,0000838	3,301
	Longitudinal Forro Exterior 19	2	0,00467	0,00934	19,7	0,184	3,625	0,0000838	3,625
	Longitudinal Forro Exterior 20	2	0,00467	0,00934	20,6	0,192	3,964	0,0000838	3,964
	Longitudinal Forro Exterior 21	2	0,00467	0,00934	21,5	0,201	4,317	0,0000838	4,317
	Longitudinal Forro Exterior 22	2	0,00467	0,00934	22,4	0,209	4,686	0,0000838	4,687
	Longitudinal Forro Exterior 23	2	0,00467	0,00934	23,3	0,218	5,071	0,0000838	5,071
	Longitudinal Forro Exterior 24	2	0,00467	0,00934	24,2	0,226	5,470	0,0000838	5,470
	Longitudinal Forro Exterior 25	2	0,00467	0,00934	25,1	0,234	5,884	0,0000838	5,884
	Longitudinal Forro Exterior 26	2	0,00467	0,00934	26	0,243	6,314	0,0000838	6,314
	Longitudinal Forro Exterior 27	2	0,00467	0,00934	26,9	0,251	6,759	0,0000838	6,759
	Longitudinal Cajón de Torsión 1	2	0,00361	0,00722	27,8	0,201	5,580	0,0000486	5,580
Longitudinal Cajón de Torsión 2	2	0,00361	0,00722	28,7	0,207	5,947	0,0000486	5,947	
Longitudinal Cajón de Torsión 3	2	0,00361	0,00722	29,6	0,214	6,326	0,0000486	6,326	
Longitudinal Cajón de Torsión 4	2	0,00361	0,00722	30,5	0,220	6,716	0,0000486	6,716	

MAMPAROS LONGITUDINALES	Longitudinal Mamparo Longitudinal 1	2	0,00467	0,00934	4,4	0,041	0,181	0,0000838	0,181
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 2	2	0,00467	0,00934	5,3	0,050	0,262	0,0000838	0,262
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 3	2	0,00467	0,00934	6,2	0,058	0,359	0,0000838	0,359
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 4	2	0,00467	0,00934	7,1	0,066	0,471	0,0000838	0,471
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 5	2	0,00467	0,00934	8	0,075	0,598	0,0000838	0,598
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 6	2	0,00467	0,00934	8,9	0,083	0,740	0,0000838	0,740
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 7	2	0,00467	0,00934	9,8	0,092	0,897	0,0000838	0,897
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 8	2	0,00467	0,00934	10,7	0,100	1,069	0,0000838	1,069
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 9	2	0,00467	0,00934	11,6	0,108	1,257	0,0000838	1,257
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 10	2	0,00467	0,00934	12,5	0,117	1,459	0,0000838	1,459
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 11	2	0,00467	0,00934	13,4	0,125	1,677	0,0000838	1,677
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 12	2	0,00467	0,00934	14,3	0,134	1,910	0,0000838	1,910
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 13	2	0,00467	0,00934	15,2	0,142	2,158	0,0000838	2,158
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 14	2	0,00467	0,00934	16,1	0,150	2,421	0,0000838	2,421
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 15	2	0,00467	0,00934	17	0,159	2,699	0,0000838	2,699
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 16	2	0,00467	0,00934	17,9	0,167	2,993	0,0000838	2,993
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 17	2	0,00467	0,00934	18,8	0,176	3,301	0,0000838	3,301
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 18	2	0,00467	0,00934	19,7	0,184	3,625	0,0000838	3,625
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 19	2	0,00467	0,00934	20,6	0,192	3,964	0,0000838	3,964
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 20	2	0,00467	0,00934	21,5	0,201	4,317	0,0000838	4,317
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 21	2	0,00467	0,00934	22,4	0,209	4,686	0,0000838	4,687
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 22	2	0,00467	0,00934	23,3	0,218	5,071	0,0000838	5,071
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 23	2	0,00467	0,00934	24,2	0,226	5,470	0,0000838	5,470
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 24	2	0,00467	0,00934	25,1	0,234	5,884	0,0000838	5,884
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 25	2	0,00467	0,00934	26	0,243	6,314	0,0000838	6,314
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 26	2	0,00467	0,00934	26,9	0,251	6,759	0,0000838	6,759
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 27	2	0,00467	0,00934	27,8	0,260	7,218	0,0000838	7,218
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 28	2	0,00467	0,00934	28,7	0,268	7,693	0,0000838	7,693
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 29	2	0,00467	0,00934	29,6	0,276	8,183	0,0000838	8,183
	Longitudinal Mamparo Longitudinal 30	2	0,00467	0,00934	30,5	0,285	8,689	0,0000838	8,689
			TOTAL	1,477	975,000	18,380	395,822		395,834

A continuación, se presenta un resumen con los cálculos finales de lo visto en el formato Excel.

RESULTADOS FINALES	
Inercia Final desde Base	2341,796
Inercia Requerida	1008,370
Eje neutro desde línea de base	11,230
Eje neutro desde la cubierta	19,770

Módulo mínimo requerido en Fondo	89,795
Módulo mínimo en cubierta	51,004

Módulo en Fondo	208,536
Módulo en Cubierta	118,450

Como se puede comprobar, los módulos calculados son mayores que los módulos requeridos tanto para fondo como para cubierta.

7 BIBLIOGRAFÍA.

- Reglamento de la Sociedad de Clasificación DNV.
- Apuntes de la asignatura Proyectos del Buque II.
- Catálogo de Perfiles tipo Llanta de Bulbo.
- Revista Significant Ships (2017.2018 y 2019)
- Trabajos de Fin de Grado del RUC,

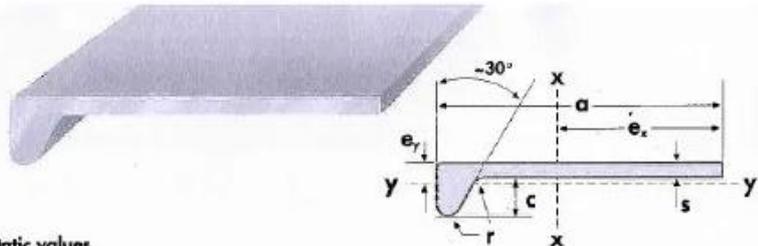
Ferrol, junio de 2022

Fdo.: Pedro Lemos González

8 ANEJO I: CATÁLOGO DE PERFILES TIPO LLANTA DE 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	Flate cross sectional area cm ²
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m											
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.62	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	0.31	0.88	16	
80	5	14	4	5.20	4.24	4.69	33.8	0.47	1.02	23	80
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	0.30	1.20	25	
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	0.54	1.42	27	
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	0.51	1.71	38	100
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	0.35	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	120
	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	140
	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	160
	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	180
	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	200
	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	220
	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	240
	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	260
	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	280
	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	300
	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	320
	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	340
	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	370
	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	400
	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	430
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	1.85	356	2036	

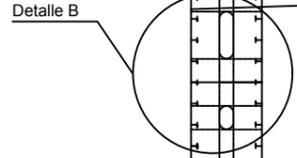
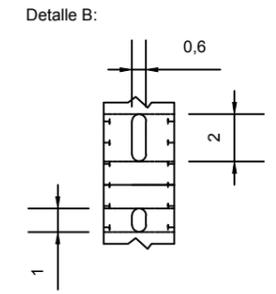
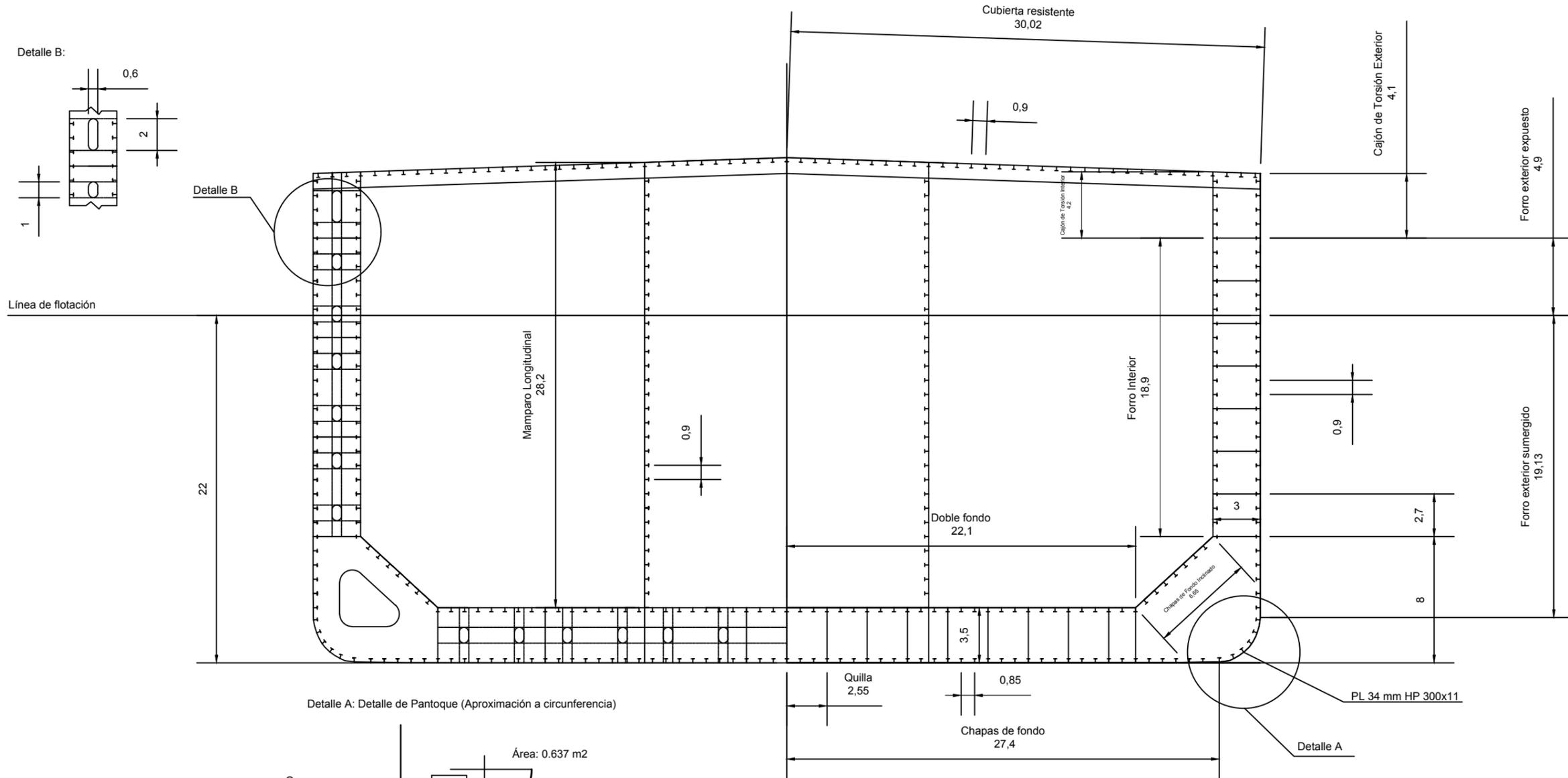
Standard lengths
 6 - 18 m
 220 - 430 mm profiles available up to 25 m lengths
 by special agreement.

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

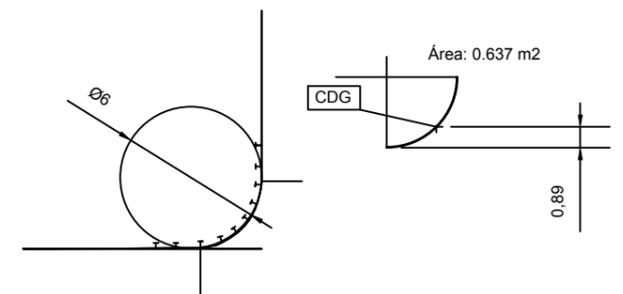
* Inclusive plate as noted

9 ANEJO II: PLANO DE CUADERNA MAESTRA.

En este anexo se adjuntan los planos de la cuaderna maestra, el primero será de la definición de las distancias y el segundo de la definición de perfiles y espesores.

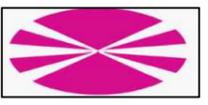


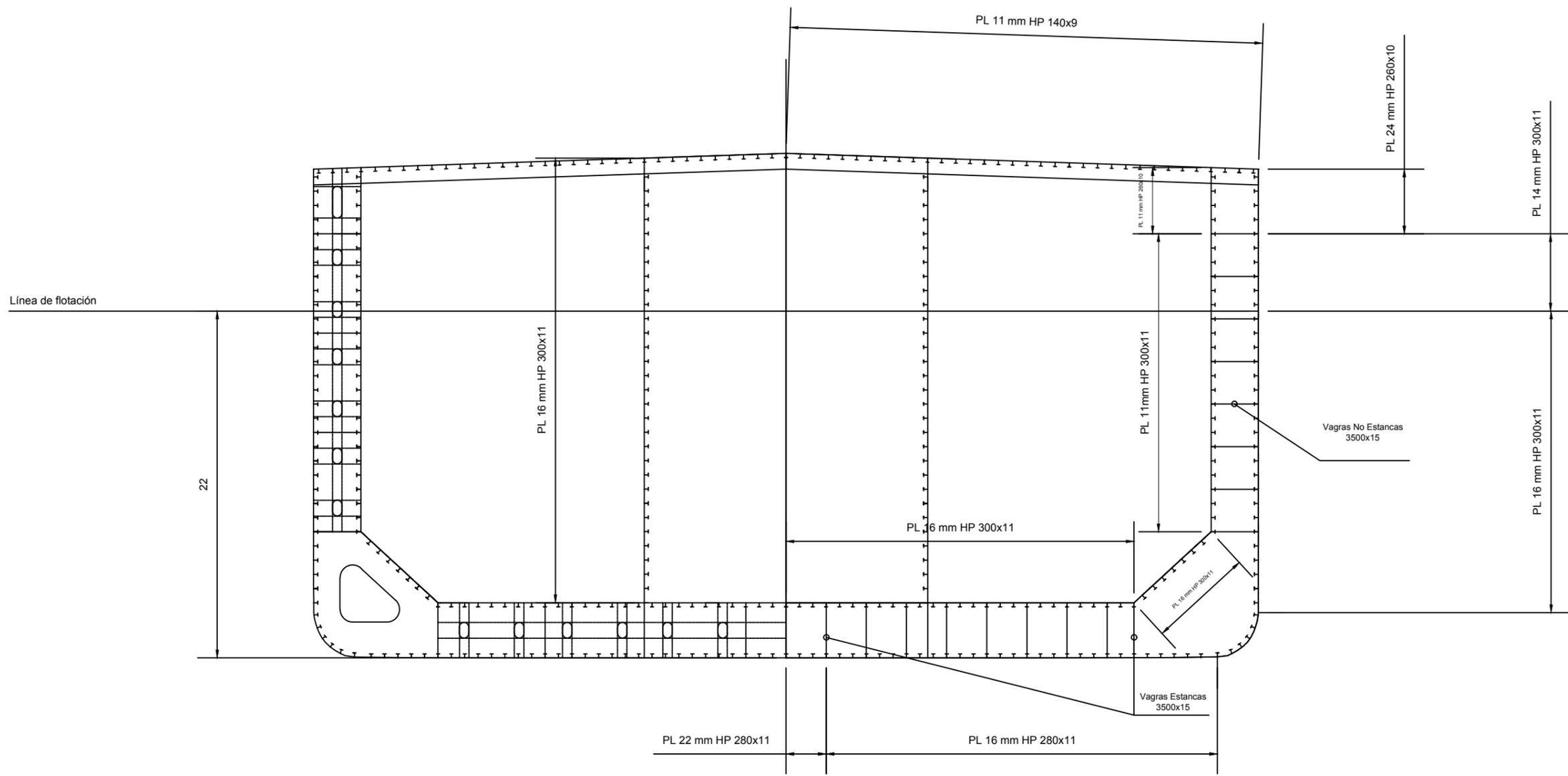
Detalle A: Detalle de Pantoque (Aproximación a circunferencia)



*Todas las medidas son en metros.

ESLORA ENTRE PERPENDICULARES: 323 m
 MANGA: 60 m
 CALADO: 22 m
 PUNTAL: 32 m

		ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR TRABAJO DE FIN DE GRADO	
		PROYECTO: PETROLERO VLCC DE 300.000 TPM	
PLANO: PLANO DE CUADERNA MAESTRA - DISTANCIAS			
AUTOR: PEDRO LEMOS GONZÁLEZ	FECHA: JUNIO 2022	ESCALA: 1:300	HOJA: 1



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
TRABAJO DE FIN DE GRADO

PROYECTO: PETROLERO VLCC DE 300.000 TPM

PLANO: PLANO DE CUADERNA MAESTRA - ESPESORES Y PERFILES

AUTOR:	FECHA:	ESCALA:	HOJA:
PEDRO LEMOS GONZÁLEZ	JUNIO 2022	1:300	2