



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2021/22**

---

*BUQUE PORTACONTENEDORES*  
*16000 TEUs*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA/O**

Javier García Ávila

**TUTORAS/ES**

Alicia Munín Doce

**FECHA**

Septiembre 2022



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2020/21**

---

*BUQUE PORTACONTENEDORES  
16000 TEUs*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 8.  
CUADERNA MAESTRA**



**TIPO DE BUQUE:** Portacontenedores

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

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 16000 TEUS

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 22 nudos de velocidad de servicio con una autonomía de 20000 millas.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Sin grúas

**PROPULSIÓN:** Motor Diesel acoplado a línea de ejes

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 30

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:**

**ALUMNO:** D. Javier García Ávila

## INDICE

INDICE.....	4
Ilustraciones.....	5
Tablas.....	6
Acrónimos usados .....	7
1. Introducción .....	8
2. Dimensiones de escantillonado.....	9
2.1 Calado de escantillonado .....	9
2.2 Eslora de escantillonado.....	9
2.3 Manga de escantillonado.....	10
2. 4 Puntal de escantillonado.....	10
2. 5 Desplazamiento de escantillonado .....	10
2. 6 Coeficiente de bloque de escantillonado .....	10
3. Descripción de la estructura .....	11
3.1 Traqueado de chapas.....	12
3.2 Separación de refuerzos.....	13
3.3 Materiales .....	13
4. Escantillonado local.....	14
4.1 Cálculo de presiones .....	14
4.1.1 Presiones en el fondo y costado sumergido .....	14
4.1.2 Presiones sobre las cubiertas.....	17
4.1.3 Presiones en el tanque del doble casco .....	18
4.1.4 Presiones sobre el doble fondo .....	20
4.1.5 Presiones en el tanque del mamparo transversal.....	21
4.2 Escantillonado de los elementos del fondo .....	22
4.2.1 Chapas del fondo.....	22
4.2.2 Longitudinales del fondo.....	26
4.3 Escantillonado del doble fondo.....	27
4.3.1 Altura del doble fondo.....	27
4.3.2 Chapas del doble fondo.....	27
4.3.3 Longitudinales del doble fondo .....	28
4.3.4 Vagras estanca central .....	28
4.3.5 Vagras no estancas .....	29
4.3.6 Varengas .....	29
4.4 Escantillonado del costado .....	30
4.4.1 Escantillonado de las chapas del forro .....	30
4.4.2 Escantillonado de las chapas del doble casco interior .....	32

4.4.3 Escantillonado de los refuerzos del forro exterior .....	33
4.4.4 Escantillonado de los refuerzos del doble casco .....	34
4.4.5 Bulárcamas .....	36
4.4.6 Palmejares .....	36
4.5 Escantillonado de la cubierta .....	37
4.5.1 Chapas de la cubierta resistente .....	37
4.5.2 Refuerzos longitudinales de la cubierta resistente .....	38
4.5.3 Chapa de la brazola de la escotilla .....	38
4.5.4 Refuerzos longitudinales de las brazolas .....	39
4.6 Escantillonado de la traca de trancañil .....	39
4.7 Cajón de torsión.....	39
4.8 Escantillonado de mamparos transversales estancos.....	40
4.8.1 Chapas de los mamparos transversales.....	40
4.8.2 Refuerzos de los mamparos transversales.....	40
4.9 Resumen del escantillonado.....	41
5. Resistencia longitudinal .....	44
5.2 Inercia y área obtenidos .....	44
Anexo 1. Catálogo de bulbos.....	47
Anexo 2. Catálogo de planchas.....	48
Anexo 3. Inercias Calculadas .....	49

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dimensiones principales .....	8
Ilustración 2. Dimensiones de escantillonado.....	9
Ilustración 3. Diseño preliminar .....	11
Ilustración 4. Traqueado de chapas .....	12
Ilustración 5. Cuaderna Maestra.....	46

## TABLAS

Tabla 1. Separación de refuerzos (s) .....	13
Tabla 2. Materiales .....	13
Tabla 3. Presión dinámica .....	16
Tabla 4. Presión total.....	17
Tabla 5. $P_{ls}$ en el costado de la obra muerta y doble casco .....	18
Tabla 6. Aceleraciones en el tanque del doble casco .....	19
Tabla 7. Presión en el interior del doble casco.....	19
Tabla 8. Aceleraciones en el tanque del doble casco .....	20
Tabla 9. Aceleraciones del buque .....	21
Tabla 10. DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 Table 1 .....	23
Tabla 11. Espesores de las chapas del forro. ....	30
Tabla 12. Presiones exteriores sobre el costado bajo flotación. ....	31
Tabla 13. Espesores de las chapas del forro sumergidas.....	31
Tabla 14. Espesores de las chapas del doble casco.....	32
Tabla 15. Refuerzos del forro .....	34
Tabla 16. Refuerzos del doble casco .....	35
Tabla 17. Resumen del escantillonado.....	42
Tabla 18. Especificación de chapas con espesores y dimensiones.....	43

## ACRÓNIMOS USADOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$\Delta$	Desplazamiento	$Tn$
B	Manga del buque	$m$
Cb	Coeficiente de bloque	-
Cf	Coeficiente de la flotación	-
Cm	Coeficiente de la maestra	-
Cp	Coeficiente prismático	-
D	Puntal	$m$
Dp	Diámetro Hélice	$m$
Fb	Francobordo	$m$
Fn	Número de Fraude	-
g	Gravedad	$m/s^2$
GM	Radio metacéntrico	$m$
KB	Posición vertical del centro de carena	-
KG	Posición vertical del centro de gravedad	-
KM	Posición vertical del metacentro	-
Lpp	Longitud entre perpendiculares del buque	-
Loa	Longitud total del buque	-
P	Potencia	$KW$
PM	Peso muerto	$Tn$
PR	Peso en Rosca	$Tn$
T	Calado	$m$
Vmx	Velocidad máxima	$m/s$ o $Kn$
Vsv	Velocidad servicio	$m/s$ o $Kn$
XB, XC	Posición longitudinal del centro de carena	$m$
XG	Posición longitudinal del centro de gravedad	$m$

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se procederá a diseñar y escantillonar la cuaderna maestra del buque proyecto.

Para ello, se partirá de un diseño conceptual a partir de la a la base de datos de buques obtenida en el Cuaderno 1.

A continuación, se realizará el escantillonado local de la cuaderna maestra según los criterios establecidos por la sociedad de clasificación DNV-GL, tal y como se solicita en el RPA.

Finalmente se realizará un plano de la cuaderna maestra obtenida, con la utilización del software AutoCAD, donde se reflejarán las dimensiones y características principales de la estructura obtenidas en la fase de escantillonado.

Se partirá de las dimensiones principales del buque, obtenidas en los cuadernos anteriores, que se emplearán para entrar en las normas de la sociedad de clasificación:

TEUs Totales	16000 TEUs	Cb	0,7 [-]
TEUs Bodega	6963 TEUs	Cm	0,998[-]
Lpp	356 [m]	Cp	0,7 [-]
Loa	377 [m]	V	22 [Kn]
B	53 [m]	Fn	0.192 [-]
D	31 [m]	$\Delta$	210413 [t]
T	15,5 [m]		

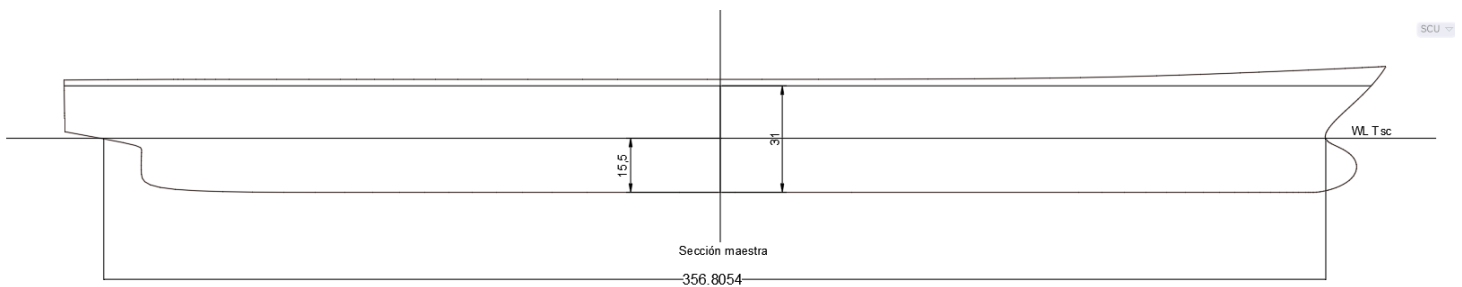
*Ilustración 1. Dimensiones principales*



## 2. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

Se establecen en primer lugar las dimensiones que se emplearán en el desarrollo del cuaderno para calcular la estructura a partir de las reglas proporcionadas por la sociedad de clasificación DNV-GL.

Este cálculo de las dimensiones de escantillonado se realizará según lo establecido en el reglamento DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.1. Section 1.



*Ilustración 2. Dimensiones de escantillonado*

### 2.1 Calado de escantillonado

Se corresponde al calado en la flotación de verano:

$$T_{sc} = 15,5[m]$$

### 2.2 Eslora de escantillonado

Se toma como la distancia en metros medida en la línea de agua correspondiente al calado de escantillonado.

Esta eslora debe estar comprendida dentro de intervalo (96 , 97)% de la eslora de la línea de agua anteriormente mencionada.

Se obtiene una medida de la línea de agua de  $L_{WL} = 356,8[m]$ .

Tomando el límite inferior del intervalo:

$$L_{sc} = 0,96 \cdot 356,8 = 342,5 [m]$$

## 2.3 Manga de escantillonado

Se corresponde a la mayor manga medida en el calado de escantillonado, en el caso del buque proyecto:

$$B_{sc} = 53[m]$$

## 2.4 Puntal de escantillonado

Se toma como la distancia vertical en metros desde la línea base hasta la cubierta continua más alta, medida desde el costado.

$$D_{sc} = 31 [m]$$

## 2.5 Desplazamiento de escantillonado

Es el desplazamiento considerando el calado de escantillonado con una densidad de  $1,025 [t/m^3]$ .

$$\Delta_{sc} = 210413 [t]$$

## 2.6 Coeficiente de bloque de escantillonado

El coeficiente de bloque ha de calcularse según la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{\Delta_{sc}}{1,025 \cdot L_{sc} \cdot B_{sc} \cdot T_{sc}} = \frac{210413}{1,025 \cdot 342,5 \cdot 53 \cdot 15,5} = 0,721[-]$$

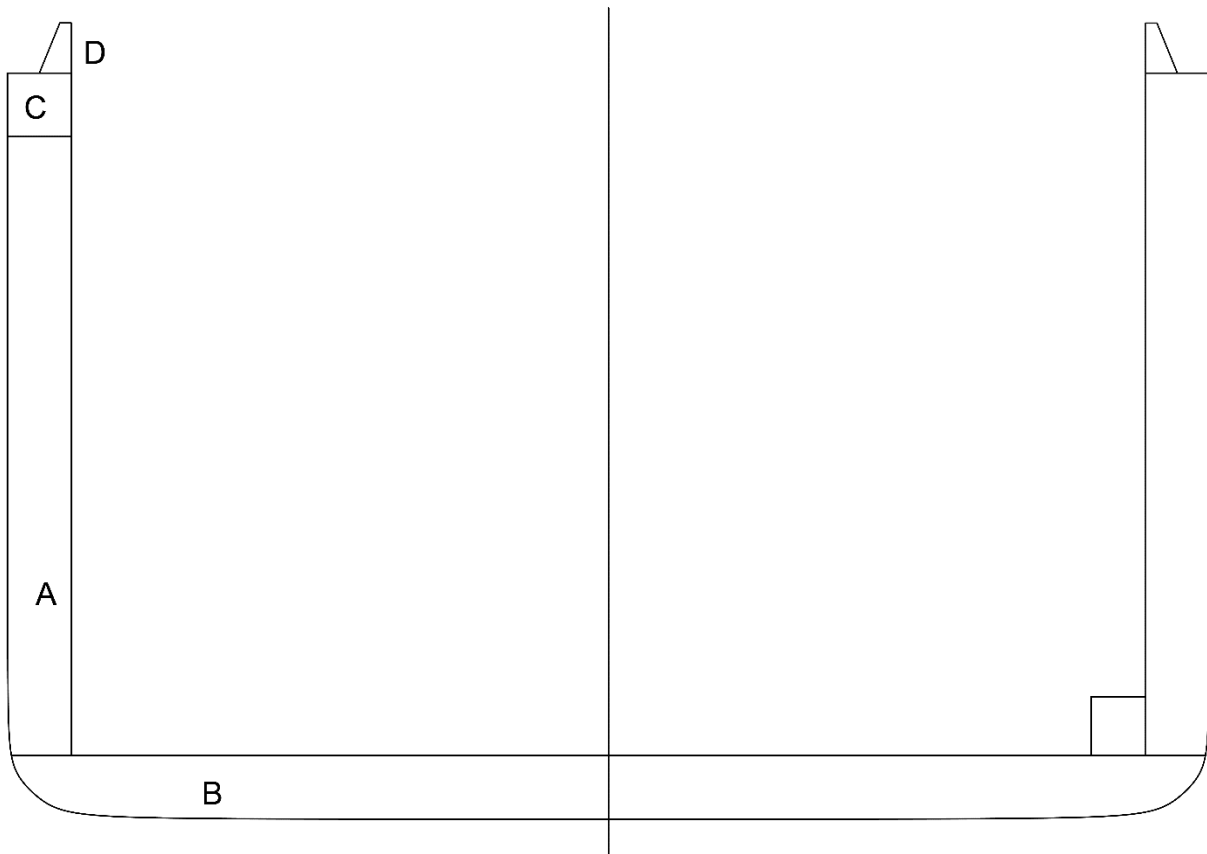
### 3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El primer paso en el diseño de la cuaderna reside en seleccionar el tipo de estructura a emplear. En el caso del buque proyecto, debido a su eslora, se establece una estructura longitudinal.

La estructura a continuación viene determinada por el compartimentado. Como se ha visto en el Cuaderno 4, el compartimentado del buque es simple, propio de los buques de su clase, con bodegas amplias sin mamparos longitudinales.

Se toma como cuaderna maestra la correspondiente a la eslora 180,6 [m] desde la perpendicular de popa.

Resultando el siguiente esquema inicial de diseño:



*Ilustración 3. Diseño preliminar*

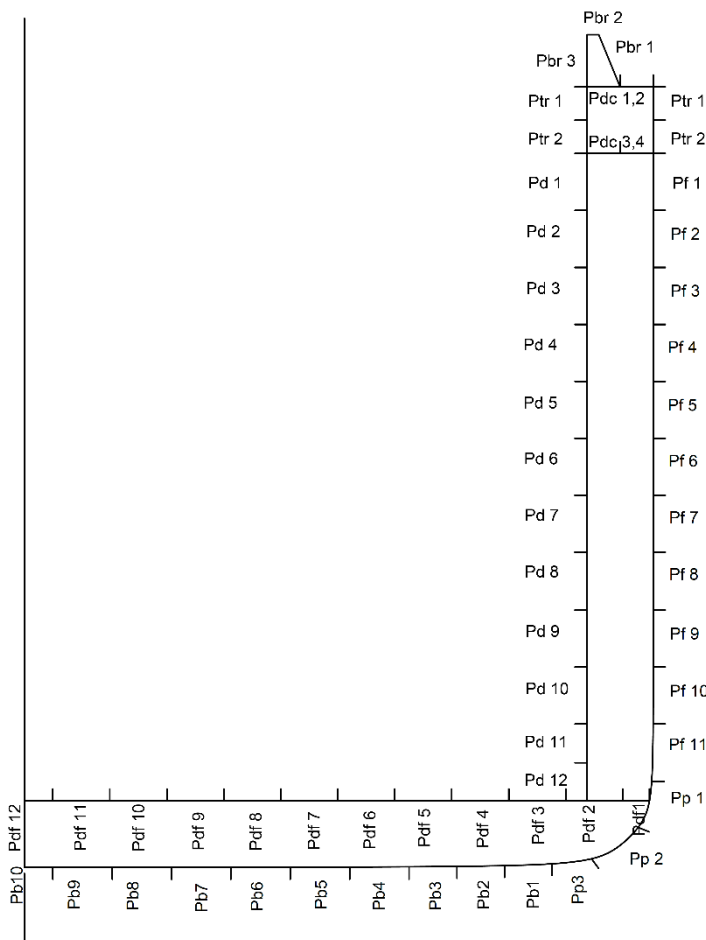
Donde se observan tres zonas de estructura:

- A: Forro
- B: Fondo (ocupado por tanques de lastre).
- C: Cajón de torsión
- D: Brazola

### 3.1 Traqueado de chapas

El siguiente paso es proceder al traqueado de las chapas de cada elemento teniendo en cuenta las dimensiones que ofrece en proveedor, tomadas de FIERRO TRADI SA, 2400x6000 [mm].

Se obtiene el siguiente traqueado:



Traqueado [mm]			
Pf 1	2400x6000	Pp 1	2400x6000
Pf 2	2400x6000	Pp 2	2400x6000
Pf 3	2400x6000	Pb 1	2000x6000
Pf 4	2400x6000	Pb 2	2000x6000
Pf 5	2400x6000	Pb 3	2000x6000
Pf 6	2400x6000	Pb 4	2400x6000
Pf 7	2400x6000	Pb 5	2400x6000
Pf 8	2400x6000	Pb 6	2400x6000
Pf 9	2400x6000	Pb 7	2400x6000
Pf 10	2400x6000	Pb 8	2400x6000
Pf 11	2400x6000	Pb 9	2400x6000
Pd 1	2400x6000	Pb 10	2400x6000
Pd 2	2400x6000	Pb 11	2400x6000
Pd 3	2400x6000	Pdf 1	1100x6000
Pd 4	2400x6000	Pdf 2	2400x6000
Pd 5	2400x6000	Pdf 3	2400x6000
Pd 6	2400x6000	Pdf 4	2400x6000
Pd 7	2400x6000	Pdf 5	2400x6000
Pd 8	2400x6000	Pdf 6	2400x6000
Pd 9	2400x6000	Pdf 7	2400x6000
Pd 10	2400x6000	Pdf 8	2400x6000
Pd 11	1600x6000	Pdf 9	2400x6000
Pd 12	1600x6000	Pdf 10	2400x6000
Ptr 1,2	1400x6000	Pdf 11	2400x6000
Pdc 1,2	1400x6000	Pdf 12	2400x6000
Pdc 3,4	1400x6000		
Pbr 1	2250x6000		
Pbr 2	500x6000		
Pbr 3	2200x6000		

Ilustración 4. Traqueado de chapas

### 3.2 Separación de refuerzos

Conforme a lo establecido en el Cuaderno 4, el espaciado entre cuadernas será de 750[mm] en el cuerpo cilíndrico y de 650 [mm] en las zonas de proa y popa.

La separación de bulárcamas se establece en 4 claras de cuaderna, que se corresponde a 3000 [mm] en la zona de las bodegas.

Se establece el siguiente espaciado entre refuerzos secundarios:

Separación de refuerzos (s) [mm]	
Brazolas	550
Cajón de torsión	600
Cubierta	750
Doble Fondo	800
Fondo	800
Forro	850
Doble casco	850
Vagras	2400

*Tabla 1. Separación de refuerzos (s)*

Cabe reseñar que se realizarán aligeramientos en las vagras, varengas y bulárcamas con el fin de que se permita el acceso a todas las zonas del buque.

Las vagras se separarán la distancia del ancho de un contenedor con el fin de que las guías de estos descansen directamente sobre refuerzos.

### 3.3 Materiales

Se emplearán acero naval para el fondo, el doble fondo y brazolas; y acero de alta resistencia en las zonas del costado, cubiertas y cajones de torsión.

Las características mecánicas de los materiales obtenidos de DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3. Section 1. se muestran a continuación:

	Límite Elástico $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Factor K [-]
Acero Naval	235	1
Acero Alta resistencia	460	0.62

*Tabla 2. Materiales*

## 4. ESCANTILLONADO LOCAL

Una vez determinados los elementos a que compondrán la estructura se procede a calcular sus especificaciones de manera que cumplan con los requerimientos del reglamento.

### 4.1 Cálculo de presiones

En primer lugar, se realizará el cálculo de las presiones en cada una de las zonas de la estructura del buque.

Estos cálculos se realizarán a partir del reglamento, DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4.

#### 4.1.1 Presiones en el fondo y costado sumergido

La presión en el fondo se descompone en dos componentes hidrodinámicas, una componente estática y otra componente dinámica.

Se tomará como la cota  $z = 0[m]$  en la línea base del buque.

En base al reglamento del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.2 S2.1;

$$P_{ex} = P_S + P_W [kN/m^2]$$

Donde:

- $P_{ex}$ , presión total para un punto dado No puede ser menor a 0
- $P_S$ , presión hidrostática
- $P_W$ , presión dinámica o presión de olas

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

$T_{LC}$  se corresponde con el calado para una condición de carga dada, sobre la cual se realiza el cálculo.

En este caso, se tomará  $T_{LC} = T_{SC} = 15.5 [m]$ .

La presión dinámica se obtendrá según la siguiente expresión:

$$P_W = \max[-P_{HS}; \rho g \cdot (z - T_{SC})]$$

Con:

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

Calculando los términos:

$$C_{fT} = f_T + 0,5 - (0,7 \cdot f_T - 0,2) \cdot C_B = 1,1395[-]$$

Con:

- $f_T = 1$ , al no estar definida la condición de carga
- $C_B = 0,721$

$f_{ps} = 1$ , considerando el escenario de diseño en condiciones extremas de mar.

Considerando el punto x como el centro de la eslora,  $f_{xL} = 0,5$  [-] obteniendo de esta manera,  $f_{nl} = 0,9$ [-], considerando un escenario de diseño de condiciones extremas de mar.

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

Con:

- $C_x = 1,5 - \frac{x-0,5 \cdot L}{L} = 1,5$
- $f_{yB} = \frac{2y}{B} = \frac{20}{53} = 0,377$

$$f_h = 3 \cdot (1,21 - 0,66 \cdot f_T) = 1,65$$

Por ser  $f_{xL} = 0,5$  se obtienen los siguientes valores:

$$k_a = 1$$

$$k_p = 1$$

$C_W = 10,75$ , por ser  $300 < L < 350$

Finalmente,  $\lambda = 0,6 \cdot (1 + f_T) \cdot L = 411$  [m]

Calculando la presión dinámica:

	$C_{fT}$	$f_{ps}$	$f_{nl}$	$f_h$	$k_a$	$k_p$	$f_{yz}$	$C_W$	$\sqrt{\frac{L_{SC} + \lambda - 125}{L_{SC}}}$	$P_W$
Pp 1	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,35	10,75	1,35	-33,29
Pp 2	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,22	10,75	1,35	-30,15
Pp 3	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,20	10,75	1,35	-29,64
Pb 1	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,20	10,75	1,35	-29,45
Pb 2	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,38
Pb 3	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 4	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 5	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 6	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 7	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 8	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 9	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pb 10	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,19	10,75	1,35	-29,29
Pf 8	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	2,37	10,75	1,35	-33,18
Pf 9	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	2,14	10,75	1,35	-52,66
Pf 10	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,90	10,75	1,35	-46,93
Pf 11	1,14	1,00	0,90	1,65	1,00	1,00	1,67	10,75	1,35	-41,21

*Tabla 3. Presión dinámica*

Se muestran a continuación las presiones calculadas en cada una de las chapas sumergidas por debajo del calado de escantillonado.

Cabe destacar que a la hora de tomar la cota de cada chapa se ha optado por usar la cota más cercana a la línea base, por ser esta la más desfavorable, obteniendo presiones mayores.



	z	$P_S$	$P_W$	$P_{ex}$
Pp 1	1,68	138,96	-33,29	172,26
Pp 2	0,36	152,24	-30,15	182,38
Pp 3	0,15	154,35	-29,64	183,99
Pb 1	0,07	155,15	-29,45	184,61
Pb 2	0,04	155,45	-29,38	184,84
Pb 3	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 4	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 5	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 6	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 7	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 8	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 9	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pb 10	0,00	155,86	-29,29	185,14
Pf 8	12,20	33,18	-33,18	66,36
Pf 9	9,80	57,31	-52,66	109,97
Pf 10	7,40	81,45	-46,93	128,38
Pf 11	5,00	105,58	-41,21	146,79

*Tabla 4. Presión total*

Se observa que la presión máxima resulta  $P_{ex_{mx}} = 185,14 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ .

#### 4.1.2 Presiones sobre las cubiertas

La presión en cubierta viene dada en DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.2 S2.2 el por la siguiente expresión:

$$P_D = \max \left( x \cdot P_{D-min}; P_{W,D} - \rho g \cdot (z - z_{dk}) \right)$$

Donde  $P_D$  no debe ser menor que 0.

Con:

- $P_{W,D}$ , presión en el costado de la cubierta expuesta, según 1.3,  $P_{W,D} = 0$ .
- $P_{D-min} = 34,3 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ , obtenida en la tabla Part3, ch4, S5.
- $x = 1$ , factor de reducción, al ser la cubierta coincidente con la de francobordo.

$$P_D = \max(34,3; 0) = 34,3 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

### 4.1.3 Presiones en el tanque del doble casco

En el interior del doble casco se encuentra un tanque de lastre, tal y como se muestra en el esquema de tanques del Cuaderno 4, de manga 2,8 [m] y de altura 28,2 [m], al alzarse desde el doble fondo hasta la cubierta de francobordo.

Se adjunta en el anexo el esquema de tanques del buque proyecto.

Calculando las presiones en el interior del tanque de lastre, según DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 S6.1:

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

$$P_{ls} = \rho \cdot g \cdot (z_{top} - z)$$

Calculando para cada una de las chapas y suponiendo el venteo sobre la cubierta de francobordo, situada a una altura de 31 [m]:

	$z$	$P_{ls}$		$z$	$P_{ls}$
Pf 1	29,20	18,10	Pd 1	29,20	18,10
Pf 2	26,80	42,23	Pd 2	26,80	42,23
Pf 3	24,40	66,36	Pd 3	24,40	66,36
Pf 4	22,00	90,50	Pd 4	22,00	90,50
Pf 5	19,60	114,63	Pd 5	19,60	114,63
Pf 6	17,20	138,76	Pd 6	17,20	138,76
Pf 7	14,80	162,90	Pd 7	14,80	162,90
Pf 8	12,40	187,03	Pd 8	12,40	187,03
Pf 9	10,00	211,16	Pd 9	10,00	211,16
Pf 10	7,60	235,29	Pd 10	7,60	235,29
Pf 11	5,20	259,43	Pd 11	5,20	259,43
			Pd 12	3,60	275,51

Tabla 5.  $P_{ls}$  en el costado de la obra muerta y doble casco

Por otro lado, calculando  $P_{ld}$ :

$$P_{ld} = f_{cd} \cdot \rho_L \cdot [a_z \cdot (z_0 - z) + f_{ull-l} \cdot a_x \cdot (x_0 - x) + f_{ull-t} \cdot a_y \cdot (y_0 - y)]$$

Con:

- $f_{ull-l} = 1$ ,  $f_{ull-t} = 1$ , por ser tanques de lastre.
- $f_{cd} = 1$ , para cualquier caso distinto de un petrolero en su tanque principal.
- $z_0 = 2,8$  [m]
- $y_0 = 0$  [m]

- $z = 31[\text{m}]$
- $y = 53/2 = 26,5 [\text{m}]$
- $\rho_L = 1.026[\text{t}/\text{m}^3]$
- $a_x = f_\beta \cdot [-C_{XG} \cdot g \cdot \sin(\psi) + C_{XS} \cdot a_{surge} - C_{XR} \cdot a_{pitch} \cdot (z - R)]$
- $a_y = f_\beta \cdot [-C_{YG} \cdot g \cdot \sin(\vartheta) + C_{YS} \cdot a_{sway} - C_{YR} \cdot a_{roll} \cdot (z - R)]$
- $a_z = f_\beta \cdot [-C_{ZH} \cdot a_{heave} + C_{ZR} \cdot a_{roll} \cdot y - C_{ZP} \cdot a_{pitch} \cdot (x - 0.45 \cdot L)]$

Las aceleraciones se calcularon anteriormente en el apartado 4.3.2:

$a_{heave}$	2,96229649	ax	2,50670007
$a_0$	0,29081401	az	0,21777108
$a_{roll}$	0,72702466	ay	0
$a_{pitch}$	0,02487		
$a_{sway}$	0,32025252		

*Tabla 6. Aceleraciones en el tanque del doble casco*

Obteniendo finalmente:

$$P_{ld} = 1,342[\text{kN}/\text{m}^2]$$

Considerando  $P_{ld}$  aproximadamente constante en todas las chapas, al ser un valor bajo, se obtiene una presión interior:

	$P_{int}$		$P_{int}$
Pf 1	19,44	Pd 1	19,44
Pf 2	43,57	Pd 2	43,57
Pf 3	67,70	Pd 3	67,70
Pf 4	91,84	Pd 4	91,84
Pf 5	115,97	Pd 5	115,97
Pf 6	140,10	Pd 6	140,10
Pf 7	164,24	Pd 7	164,24
Pf 8	188,37	Pd 8	188,37
Pf 9	212,50	Pd 9	212,50
Pf 10	236,63	Pd 10	236,63
Pf 11	260,77	Pd 11	260,77
		Pd 12	276,85

*Tabla 7. Presión en el interior del doble casco*

#### 4.1.4 Presiones sobre el doble fondo

La principal consideración de diseño del doble fondo será la existencia de un tanque de lastre. Este tanque de lastre se tendrá en cuenta a la hora de calcular la presión sobre esta cubierta.

Para ello, según DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 S6.1, la presión a considerar será la correspondiente a la del interior del tanque.

Se diseña con una condición AC-II:

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

$$P_{ls} = \rho \cdot g \cdot (z_{top} - z) = 1,026 \cdot 9.81 \cdot 2.8 = 28,18 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Suponiendo el venteo sobre la cubierta de francobordo, situada a una altura de 31 [m]:

$$P_{ld} = f_{cd} \cdot \rho_L \cdot [a_z \cdot (z_0 - z) + f_{ull-l} \cdot a_x \cdot (x_0 - x) + f_{ull-t} \cdot a_y \cdot (y_0 - y)]$$

Con:

- $f_{ull-l} = 1, f_{ull-t} = 1$ , por ser tanques de lastre.
- $f_{cd} = 1$ , para cualquier caso distinto de un petrolero en su tanque principal.
- $z_0 = y_0 = 0$
- $z = 2.8[m]$
- $y = 53/2 = 26,5[m]$
- $\rho_L = 1.026[t/m^3]$
- $a_x = f_\beta \cdot [-C_{XG} \cdot g \cdot \sin(\psi) + C_{XS} \cdot a_{surge} - C_{XR} \cdot a_{pitch} \cdot (z - R)]$
- $a_y = f_\beta \cdot [-C_{YG} \cdot g \cdot \sin(\vartheta) + C_{YS} \cdot a_{sway} - C_{YR} \cdot a_{roll} \cdot (z - R)]$
- $a_z = f_\beta \cdot [-C_{ZH} \cdot a_{heave} + C_{ZR} \cdot a_{roll} \cdot y - C_{ZP} \cdot a_{pitch} \cdot (x - 0.45 \cdot L)]$

Los cálculos de las aceleraciones anteriores se realizaron a partir de un documento de Excel externo, obteniendo los siguientes resultados:

$a_{heave}$	2,96229649	ax	2,29670007
$a_0$	0,29081401	az	0,21777108
$a_{roll}$	0,72702466	ay	0
$a_{pitch}$	0,02487		
$a_{sway}$	0,32025252		

**Tabla 8. Aceleraciones en el tanque del doble casco**

Obteniendo finalmente:

$$P_{ld} = 1,275[kN/m^2]$$

Con una presión interna final:

$$P_{Doble Fondo} = P_{int} = 39,18 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

### 4.1.5 Presiones en el tanque del mamparo transversal

Para ello, según DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 S6.1, la presión a considerar será la correspondiente a la interior del tanque al diseñar con una condición AC-II.

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

$$P_{ls} = \rho \cdot g \cdot (z_{top} - z) = 1,026 \cdot 9.81 \cdot 31 = 283,54 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Suponiendo el venteo sobre la cubierta de francobordo, situada a una altura de 31 [m].

$$P_{ld} = f_{cd} \cdot \rho_L \cdot [a_z \cdot (z_0 - z) + f_{ull-l} \cdot a_x \cdot (x_0 - x) + f_{ull-t} \cdot a_y \cdot (y_0 - y)]$$

Con:

- $f_{ull-l} = 1, f_{ull-t} = 1$ , por ser tanques de lastre.
- $f_{cd} = 1$ , para cualquier caso distinto de un petrolero en su tanque principal.
- $z_0 = 2,8[m]$
- $y_0 = 0$
- $z = 31[m]$
- $y = 0[m]$
- $\rho_L = 1.026[t/m^3]$
- $a_x = f_\beta \cdot [-C_{XG} \cdot g \cdot \sin(\psi) + C_{XS} \cdot a_{surge} - C_{XR} \cdot a_{pitch} \cdot (z - R)]$
- $a_y = f_\beta \cdot [-C_{YG} \cdot g \cdot \sin(\vartheta) + C_{YS} \cdot a_{sway} - C_{YR} \cdot a_{roll} \cdot (z - R)]$
- $a_z = f_\beta \cdot [-C_{ZH} \cdot a_{heave} + C_{ZR} \cdot a_{roll} \cdot y - C_{ZP} \cdot a_{pitch} \cdot (x - 0.45 \cdot L)]$

Los cálculos de las aceleraciones anteriores se realizaron a partir de un documento de Excel externo, obteniendo los siguientes resultados:

$a_{heave}$	2,96229649	ax	2,29670007
$a_0$	0,29081401	az	0,21777108
$a_{roll}$	0,72702466	ay	0
$a_{pitch}$	0,02487		
$a_{sway}$	0,32025252		

**Tabla 9. Aceleraciones del buque**

Obteniendo finalmente:

$$P_{ld} = 1,795[kN/m^2]$$

Con una presión interna máxima,  $P = P_{int} = 285,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

## 4.2 Escantillado de los elementos del fondo

Se procede a continuación al diseño de la estructura correspondiente a la zona inferior del buque.

### 4.2.1 Chapas del fondo

Las chapas del fondo son las encargadas de mantener la estanqueidad del tanque de lastre, de soportar las cargas del lastre y finalmente soportar las cargas producidas por el empuje debido al volumen de agua desplazado por el buque.

A partir del reglamento DNVGL-RU-SHIP Pt.3, se indican los cálculos oportunos para el dimensionamiento de estas chapas con el cumplimiento de la norma.

El primer paso será calcular la longitud mínima de la chapa de fondo, a partir de la siguiente expresión (DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.5):

$$b_{min} = 0.8 + L_{SC}/200 = 2527,5 [mm]$$

Pero no será necesario que sea mayor de 2,3 [m], luego  $b_{min} = 2,3[m]$ .

Por lo que se cumple el traqueado inicial, donde se emplearon chapas de 2,4 [m].

Para el cálculo de los espesores mínimos requeridos por la norma se emplearán dos formulaciones diferentes, una general y otra con las presiones calculadas anteriormente.

Para calcular las chapas del fondo se empleará la siguiente fórmula, obtenida en el DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S1.1:

$$t_1 = a + b \cdot L_2 \sqrt{k}$$

Donde:

- $a$  y  $b$  son dos coeficientes que se escogen según la Tabla 1 y dependen de la ubicación de la chapa.
- $L_2$ , la eslora de reglamento, la cual no será mayor a 300 [m], luego se toma como 300 [m].
- $k$ , es el factor del material, que se toma como  $k = 1$  para el acero normal.

Obteniéndose entonces la siguiente fórmula:

$$t = a + 300 \cdot b$$

Se muestra a continuación la tabla 1 que permite obtener los valores de a y b, para el cálculo del espesor mínimo de chapas.

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere <sup>6)</sup>		0.01
Sea chest boundaries	4.5	0.05		
Deck	Weather deck <sup>1),2),3),4)</sup> , strength deck <sup>2),3)</sup> and platform deck in machinery space	4.5	0.02	
	Boundary for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk		0.015	
	Other decks <sup>3),4),5)</sup>		0.01	
Inner bottom	Cargo spaces loaded through cargo hatches except container holds	5.5	0.025	
	Other spaces	4.5	0.02	
Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015	
	Peak bulkheads and machinery space end bulkheads			
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads			0.01
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0.005	
	Other non-tight bulkheads		0	
	Walls in accommodation	4.5	0	

Tabla 10. DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 Table 1

#### 4.2.1.1 Chapa de la quilla

El espesor mínimo de la chapa de la quilla se obtendrá de igual manera con dos métodos distintos.

A partir de formulación empleada en el apartado 4.2.1 y mediante la Tabla 5 se obtiene el siguiente espesor.

$$t_{keel\ 1} = 5 + 0.05 \cdot 300 = 20[mm]$$

Con  $a = 5.0$  y  $b = 0.05$ .

Considerando unos criterios de aceptación AC-II, definidos en el DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S4 se aplica la siguiente fórmula para el cálculo del segundo espesor de las chapas situadas en la quilla.

$$t_{keel\ 2} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 800 \sqrt{\frac{126,57}{0,95 \cdot 235}} = 10,93[mm]$$

Siendo:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 126,57[kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 800 [mm].
- $a_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura, se calcula a partir de DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S4.1.

$$\sigma_{hg} = \sigma_{hg-s} = \frac{M_{sw-h}}{I_{y-n50}} \cdot (z - z_{m-n50}) \cdot 10^{-3} = -153.43$$

Donde:

- $z_{m-n50}$ , se considera como  $0,3 \cdot D = 9.3$  [m].
- $I_{y-n50} = 3 \cdot f_r \cdot C_w \cdot L_{sc}^3 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-8} = 987,6$ [m<sup>4</sup>]

Considerando la situación de quebranto, aplicando DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 S2.2:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} \cdot (171 \cdot C_w \cdot L_{sc}^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

$$M_{sw-h-min} = 16293435 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$$

Con:

- $f_{sw} = 1$ , por considerar olas puntuales en situación de quebranto.
- $C_w = 10.75$ , para buques con eslora de escantillonado comprendida entre 300 y 350 [m].
- $M_{wv-h-mid} = 0.19 \cdot f_{nl-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot B \cdot C_B = 75,89$  [kN · m]
- $f_m = 1$ , por estar la cuaderna en una posición central del buque.
- $f_p = 1$ , por ser análisis de estrés.
- $f_{nl-vh} = 1$ , por ser un análisis de estrés.

Se escogen por tanto chapas de la quilla con un espesor comercial:

$$t_{keel} = 20[\text{mm}]$$

#### 4.2.1.2 Chapas del fondo

Aplicando de nuevo lo expuesto en el apartado 4.2.1 y la tabla 5 se obtiene un primer valor del espesor mínimo de las chapas del fondo.

$$t_{Bottom} = 4.5 + 0.035 \cdot 300 = 15 \text{ [mm]}$$

Considerando  $a = 4.5$  y  $b = 0.035$ .



Calculando el espesor requerido por las chapas del fondo a partir de la presión calculada en el apartado 4.1.1 del presente cuaderno:

$$t_{Bottom 2} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 800 \sqrt{\frac{126,57}{0,95 \cdot 235}} = 10,93[mm]$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 126,57[kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 800 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Por lo tanto, se establece un espesor nominal de chapas de fondo:

$$t_{Bottom} = 16 [mm]$$

#### 4.2.1.3 Chapas del pantoque

El escantillonado del pantoque se realizará de igual manera de con dos métodos de cálculo distintos, conforme a lo dispuesto en la normativa DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S3.

Calculando el espesor mínimo:

$$t_{bilge 1} = 4.5 + 0.035 \cdot 300 = 15 [mm]$$

Calculando el espesor requerido mediante formulación específica a partir del radio de pantoque y de la presión calculada en el apartado 4.1.1:

$$t_{bilge 2} = 6,45 \cdot 10^{-4} \cdot (P \cdot s_b)^{0,4} \cdot R^{0,6} = 13,5[mm]$$

Con:

- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 122,09 [kN/mm<sup>2</sup>].
- $s_b$ , la separación entre elementos transversales, tres claras de cuaderna 2250 [mm].
- $R$ , radio efectivo del pantoque,  $R = R_0 + 0,5 \cdot (\Delta s_1 + \Delta s_2) = 3755 [mm]$
- $R_0$ , radio de curvatura en mm, 3355 [mm].

- $\Delta s_1 = 630$ ,  $\Delta s_2 = 170$ , según la Ilustración 5 [mm].
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].

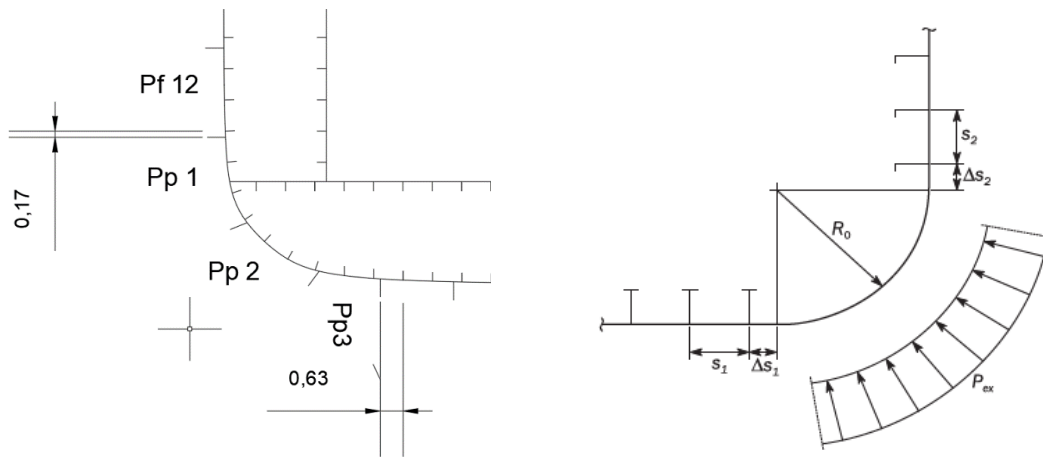


Ilustración 5. DNV 2.1.4 Figura 1- Detalle formas

Se escoge por tanto una chapa comercial de con  $t_{bilge} = 16$  [mm].

#### 4.2.2 Longitudinales del fondo

Los refuerzos longitudinales serán perfiles de llanta de bulbo cuya función principal residirá en mantener las planchas exteriores en su posición repartiendo su carga.

Calculando el módulo requerido, a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S2.1;

$$Z_{bottom} = \frac{f_u \cdot P \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot R_{eH}} = 182,4 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12,00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1,03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.
- $s$ , separación entre refuerzos, 800 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1,10$  y  $\alpha_s = 1,00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.

Se escoge por tanto el perfil comercial 280x11 [mm].

## 4.3 Escantillonado del doble fondo

### 4.3.1 Altura del doble fondo

Se realizará en primera instancia una comprobación de la altura del doble fondo a partir del reglamento, DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.2 S3.

La altura de fondo debe ser la mayor entre  $h_{DB} = 1000 \cdot \frac{B}{20}$  y 760 [mm], no siendo necesario que su altura se tome como más de 2000 [mm].

Así mismo será necesario que la altura sea suficiente para permitir el acceso a todas las partes del doble fondo.

$$h_{DB} = 1000 \cdot \frac{53}{20} = 2650 [mm]$$

Luego según el reglamento  $h_{DB} = 2000 [mm]$ .

Se establece en el buque, conforme a lo establecido anteriormente en el Cuaderno 4, un doble fondo de 2,8 [m]. Esta altura del doble fondo coincidirá con la altura de las vagras.

### 4.3.2 Chapas del doble fondo

A partir de esta presión se calcula el espesor:

$$t_{DF} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 800 \sqrt{\frac{39,18}{0,95 \cdot 235}} = 7,48 [mm]$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 39,18 [kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 800 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Calculando el espesor mínimo:

$$t_{bilge} = 5.5 + 0.025 \cdot 300 = 13 [mm]$$

Luego se escogen chapas de espesor nominal 16 [mm].

### 4.3.3 Longitudinales del doble fondo

Se calcularán con la misma expresión empleada en el apartado 4.2.2:

Calculando el módulo requerido,

$$Z_{DB} = \frac{f_u \cdot P \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot R_{eH}} = 64,82 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.
- $s$ , separación entre refuerzos, 800 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , la presión interior del tanque,  $39,18 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ .

Luego se selecciona un perfil de llanta de bulbo de 180x10 [mm].

### 4.3.4 Vagras estanca central

En el doble casco se establece una vagra estanca que divide longitudinalmente por crujía el tanque.

Para el cálculo de la vagra se empleará la expresión proporcionada por DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S3.2:

$$t_{varenga \text{ estanca central}} = a + b \cdot L_2 \sqrt{k} = 4,5 + 0,015 \cdot 300 \cdot 1 = 9 \text{ [mm]}$$

Siendo:

- $a = 5,0$  y  $b = 0,03$  son dos coeficientes que se escogen según la Tabla 5.
- $L_2$ , la eslora de reglamento, la cual no será mayor a 300 [m], luego se toma como 300 [m].
- $k$ , es el factor del material, que se toma como  $k = 1$  para el acero normal.

La varenga estanca se escoge por tanto de 9,5 [mm].

### 4.3.5 Vagras no estancas

El valor del espesor del resto de vagras se calculará mediante el procedimiento mostrado en el apartado 4.2.1.

Calculando el espesor mínimo con la expresión general, obteniendo los parámetros  $a = 5,0$  y  $b = 0,005$  de la Tabla 5:

$$t_{\text{minimo}} = 5 + 0.005 \cdot 300 = 6,5 \text{ [mm]}$$

Se escogen por tanto varengas de un espesor nominal comercial de 8 [mm].

### 4.3.6 Varengas

Las varengas actúan como refuerzos primarios transversales, se establecen para el buque proyecto varengas no estancas, abiertas.

A partir de la formulación aportada por DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S6.1:

$$t_{\text{varengas}} = \frac{f_{shr} \cdot P \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{eH}} = 6,52 \text{ [mm]}$$

Donde:

- $f_{shr}$ , coeficiente de distribución de fuerza cortante, 0,5, por ser refuerzos horizontales.
- $d_{shr}$ , profundidad efectiva a cortante, a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S7.1.1.4  $d_{shr} = 2800 + 15 = 2815 \text{ [mm]}$ .
- $l_{shr}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S7.1.1.2,  $l_{shr} = 1000 - \frac{850}{2000} = 999 \text{ [mm]} = 0,99 \text{ [m]}$
- $s$ , separación entre refuerzos, 850 [mm].
- $\tau_{eH} = R_{eH} / (3)^{1/2} = 135,7 \text{ [MPa]}$ .
- $C_t$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo permitido,  $C_t = 0,90$ , por considerar condiciones de diseño AC-II.
- $P$ , la presión interior del tanque,  $39,18 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ .

Se calculará igualmente el espesor mínimo a partir de la expresión del apartado 4.3.4:

$$t_{\text{varenga}} = 5 + 0.017 \cdot 300 = 10,1 \text{ [mm]}$$

Se escogen por tanto varengas de un espesor nominal de 12,5 [mm].

## 4.4 Escantillonado del costado

El escantillonado del costado se realizará dividiendo la parte del costado en costado sumergido y costado sobre flotación.

Se considera la condición de diseño más desfavorable la que considera los tanques de lastre laterales vacíos para el escantillonado de las chapas y refuerzos del forro exterior, y los tanques de lastre llenos para el escantillonado de las chapas y refuerzos del doble casco.

### 4.4.1 Escantillonado de las chapas del forro

#### 4.4.1.1 Chapas del forro sobre la flotación

A partir de esta presión se calcula el espesor:

$$t_{\text{costado emergido}} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Donde:

- $C_a$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 284,34 [kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 850 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Calculando el espesor mínimo:

$$t_{\text{costado emergido}} = 4.5 + 0.025 \cdot 300 = 12 \text{ [mm]}$$

Luego calculando para cada una de las chapas:

	$P_{int}$	t [mm]	t comercial [mm]
Pf 1	19,44	9,77	12,50
Pf 2	43,57	9,33	12,50
Pf 3	67,70	10,38	12,50
Pf 4	91,84	10,73	12,50
Pf 5	115,97	10,93	12,50
Pf 6	140,10	12,02	12,50
Pf 7	164,24	13,02	16,00
Pd 1	19,44	9,77	12,50
Pd 2	43,57	9,33	12,50
Pd 3	67,70	10,38	12,50

	$P_{int}$	t [mm]	t comercial [mm]
Pd 4	91,84	10,73	12,50
Pd 5	115,97	10,93	12,50
Pd 6	140,10	12,02	12,50
Pd 7	164,24	13,02	16,00
Pd 8	188,37	13,94	16,00
Pd 9	212,50	14,81	16,00
Pd 10	236,63	15,62	16,00
Pd 11	260,77	16,40	19,00
Pd 12	276,85	16,90	19,00

Tabla 11. Espesores de las chapas del forro.

#### 4.4.1.2 Chapas del forro sumergidas

Se calculan en la situación más desfavorable, siendo la presión:

$$P = \max(P_{ext}, (P_{int} - P_{ext}); P_{int})$$

Resultando para cada una de las chapas:

	$P_{ext}$	$P_{int}$	$P$
Pf 8	66,36	187,03	187,03
Pf 9	109,97	211,16	211,16
Pf 10	128,38	235,29	235,29
Pf 11	146,79	259,43	259,43

*Tabla 12. Presiones exteriores sobre el costado bajo flotación.*

Calculando la chapa mínima:

$$t_{chapas\ del\ forro\ sumergidas} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}}$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , mostrada en la Tabla 6.
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 850 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{850}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Se obtiene de esta manera un espesor para cada chapa:

	P	t [mm]	t comercial [mm]
Pf 8	188,37	13,94	16,00
Pf 9	212,50	14,81	16,00
Pf 10	236,63	15,62	16,00
Pf 11	260,77	16,40	19,00

*Tabla 13. Espesores de las chapas del forro sumergidas*

Calculando el espesor mínimo con la expresión del apartado 4.3.4, modificando los parámetros  $a = 4,5$  y  $b = 0,035$ :

$$t_{\text{mínimo}} = 4,5 + 0.035 \cdot 300 = 15 \text{ [mm]}$$

Se escogen por tanto todas las chapas del costado de un espesor nominal de 16 [mm].

#### 4.4.2 Escantillonado de las chapas del doble casco interior

A partir de la presión calculada en el apartado 4.4.3 se calcula el espesor de la chapa del doble casco:

$$t_{\text{Doble Casco}} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 17,15 \text{ [mm]}$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{ng}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , 285,34  $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 850 [mm].
- $a_p = 1,2 - \frac{850}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Resultando los siguientes espesores para cada una de las chapas:

	$P_{int}$	t [mm]	t comercial [mm]
Pd 1	19,43945	9,7781714	12,50
Pd 2	43,57205	9,9044433	12,50
Pd 3	67,70465	10,357338	12,50
Pd 4	91,83725	10,733480	12,50
Pd 5	115,9699	10,937833	12,50
Pd 6	140,1025	12,022135	12,50
Pd 7	164,2351	13,016423	16,00
Pd 8	188,3677	13,939971	16,00
Pd 9	212,5003	14,806024	16,00
Pd 10	236,6329	15,624144	16,00
Pd 11	260,7655	16,401507	19,00
Pd 12	276,8539	16,899895	19,00

Tabla 14. Espesores de las chapas del doble casco



### 4.4.3 Escantillado de los refuerzos del forro exterior

Se calcularán con la misma expresión empleada en el apartado 4.2.2:

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

Siendo:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.
- $s$ , separación entre refuerzos, 850 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , respectivamente para el forro sumergido y emergido,  $168,91$  [ $kN/mm^2$ ] y  $284,34$  [ $kN/mm^2$ ].

Calculando el módulo requerido, para cada uno de los refuerzos, considerando la presión más desfavorable:

z [m]	P	Z [ $cm^4$ ]	Perfil comercial
29,67	18,10	30	060x05
28,80	18,10	30	060x05
27,94	42,23	70	100x07
27,07	42,23	70	100x07
26,20	42,23	70	100x07
25,34	66,36	110	120x06
24,47	66,36	110	120x06
23,60	66,36	110	120x06
22,74	90,50	150	120x08
21,87	90,50	150	120x08
21,00	90,50	150	120x08
20,14	114,63	190	140x07
19,27	114,63	190	140x07
18,40	114,63	190	140x07
17,54	138,76	230	140x07
16,67	138,76	230	140x07
15,80	138,76	230	140x07
14,94	162,90	269	140x09

z [m]	P	Z [cm <sup>4</sup> ]	Perfil comercial
14,07	162,90	269,498505	140x09
13,20	162,90	269,498505	140x09
12,34	187,03	309,424209	160x07
11,47	187,03	309,424209	160x07
10,60	187,03	309,424209	160x07
9,74	211,16	349,349914	160x07
8,87	211,16	349,349914	160x07
8,00	211,16	349,349914	160x07
7,14	235,29	389,275618	160x08
6,27	235,29	389,275618	160x08
5,40	235,29	389,275618	160x08
4,54	259,43	429,201323	160x09
3,67	259,43	429,201323	160x09

Tabla 15. Refuerzos del forro

#### 4.4.4 Escantillonado de los refuerzos del doble casco.

Se calcularán, igualmente, con la misma expresión empleada en el apartado 4.2.2, con la presión interior del tanque, calculada en el apartado 4.2.4.

Calculando el módulo requerido;

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

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.
- $s$ , separación entre refuerzos, 850 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , la presión interior del tanque,  $284,34$  [kN/mm<sup>2</sup>].

Calculando para cada uno de los refuerzos:

z refuerzo [m]	P	Z [cm <sup>4</sup> ]	Perfil comercial
29,67	19,44	32	060x05
28,80	19,44	32	060x05
27,94	43,57	72	100x07
27,07	43,57	72	100x07
26,20	43,57	72	100x07
25,34	67,70	112	120x06
24,47	67,70	112	120x06
23,60	67,70	112	120x06
22,74	91,84	152	120x08
21,87	91,84	152	120x08
21,00	91,84	152	120x08
20,14	115,97	192	140x07
19,27	115,97	192	140x07
18,40	115,97	192	140x07
17,54	140,10	232	140x07
16,67	140,10	232	140x07
15,80	140,10	232	140x07
14,94	164,24	272	140x09
14,07	164,24	272	140x09
13,20	164,24	272	140x09
12,34	188,37	312	160x07
11,47	188,37	312	160x07
10,60	188,37	312	160x07
9,74	212,50	352	160x07
8,87	212,50	352	160x07
8,00	212,50	352	160x07
7,14	236,63	391	160x08
6,27	236,63	391	160x08
5,40	236,63	391	160x08
4,54	260,77	431	160x09
3,67	260,77	431	160x09

*Tabla 16. Refuerzos del doble casco*

#### 4.4.5 Bulárcamas

El espesor de las bulárcamas se calculará a partir de lo establecido en el

A partir de la formulación aportada por DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.6 S6.1:

$$t_{bulárcamas} = \frac{f_{shr} \cdot P \cdot s \cdot l_{shr}}{d_{shr} \cdot C_t \cdot \tau_{eH}} = 10,52[mm]$$

Donde:

- $f_{shr}$ , coeficiente de distribución de fuerza cortante, 0,5, por ser refuerzos horizontales.
- $d_{shr}$ , profundidad efectiva a cortante, a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S7.1.1.4  $d_{shr} = 2800 + 15 = 2815[mm]$ .
- $l_{shr}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S7.1.1.2,  $l_{shr} = 3000 - \frac{850}{2000} = 2999[mm] = 3[m]$
- $s$ , separación entre refuerzos, 850 [mm].
- $\tau_{eH} = R_{eH}/(3)^{1/2} = 135,7$  [MPa].
- $C_t$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo permitido,  $C_t = 0,90$ , por considerar condiciones de diseño AC-II.
- $P$ , la presión interior del tanque, 284,34 [kN/mm<sup>2</sup>].

Se calculará igualmente el espesor mínimo a partir de la expresión del apartado 4.3.4:

$$t_{varenga} = 7,5 + 0.015 \cdot 300 = 12 [mm]$$

Se escogen por tanto varengas de un espesor nominal de 12,5 [mm].

#### 4.4.6 Palmejares

A partir de la formulación mostrada en el apartado 4.2.1:

$$t_{palmejar} = 4,5 + 0.015 \cdot 300 = 9 [mm]$$

Escogiendo una chapa nominal de 9,5 [mm] de espesor.

## 4.5 Escantillonado de la cubierta

Se calculará la estructura de la cubierta a partir de la presión calculada en el apartado 4.1.2.

### 4.5.1 Chapas de la cubierta resistente

El valor del espesor del resto de vagras se calculará mediante el procedimiento mostrado en el apartado 4.2.2.1:

$$t_{1 \text{ cubierta}} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 750 \sqrt{\frac{39,18}{0,95 \cdot 235}} = 5,6[\text{mm}]$$

$$t_{\text{vagrás no estancas}} = 13,44[\text{mm}]$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 34,3[kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 750 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Calculando el espesor mínimo con la expresión del apartado 4.3.4, modificando los parámetros  $a = 5,0$  y  $b = 0,02$

$$t_{2 \text{ cubierta}} = 4,5 + 0.02 \cdot 300 = 10,5 [\text{mm}]$$

Se escogen por tanto chapas de 12,5 [mm] de espesor comercial.

### 4.5.2 Refuerzos longitudinales de la cubierta resistente

Calculando el módulo requerido;

$$Z_{\text{Refuerzos Cubierta}} = \frac{f_u \cdot P \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot R_{eH}} = 50,07 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.
- $s$ , separación entre refuerzos, 750 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , la presión interior del tanque,  $34,3 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ .

Luego se selecciona un perfil de llanta de bulbo de 180x08 [mm] para los refuerzos longitudinales de la cubierta.

### 4.5.3 Chapa de la brazola de la escotilla

La presión de las brazolas se estimará en  $50 \text{ kN/m}^2$ , a partir de la bibliografía consultada, por ser el buque mayor a 250 [m] de eslora.

$$t_{1 \text{ Brazola}} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 750 \sqrt{\frac{50,00}{0,95 \cdot 235}} = 6,34 \text{ [mm]}$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1,  $34,3 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ .
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 750 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Calculando el espesor con la otra expresión aportada por DNV-GL:

$$t_{2 \text{ Brazola}} = 4,5 + 0.02 \cdot 300 = 10,5 \text{ [mm]}$$

Se escoge por tanto una chapa de 12,5 [mm] de espesor nominal.

#### 4.5.4 Refuerzos longitudinales de las brazolas

Calculando el módulo requerido;

$$Z_{\text{Refuerzos Brazola}} = \frac{f_u \cdot P \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot R_{eH}} = 72,99 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m].
- $s$ , separación entre refuerzos, 750 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , la presión interior del tanque,  $50 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ .

Luego se selecciona un perfil de llanta de bulbo de 200x09 [mm] para los refuerzos longitudinales de la cubierta.

#### 4.6 Escantillonado de la traca de trancañil

El cálculo del espesor de la traca de trancañil se hará a partir de la media aritmética de los espesores del costado sobre flotación y la cubierta.

$$t_{\text{trancañil}} = \frac{12 + 12}{2} = 12 \text{ [mm]}$$

Se escoge por tanto un espesor nominal de 12,5 [mm] de espesor.

#### 4.7 Cajón de torsión

El espesor del cajón de torsión se calculará empleando únicamente la siguiente formulación:

$$t_{\text{cajón}} = a + b \cdot L_{sc} = 10,5 \text{ [mm]}$$

$$t_{2 \text{ cajón}} = 4,5 + 0.02 \cdot 300 = 10,5 \text{ [mm]}$$

Luego se empleará una chapa de 12,5 [mm] de espesor nominal.

Los refuerzos del cajón de torsión se tomarán de igual especificación que el empleado en las brazolas, siendo estos perfiles comerciales de 200x09, según el catálogo seleccionado.

## 4.8 Escantillado de mamparos transversales estancos

Tras la realización del compartimentado se establecieron mamparos transversales que separan las distintas bodegas del buque proyecto.

Los mamparos transversales se dimensionarán considerando la presión obtenida en el apartado 4.1.4.

### 4.8.1 Chapas de los mamparos transversales

Aplicando el método de cálculo a partir de la presión del tanque:

$$t_{1\text{Mamparo}} = 0.0158 \cdot \alpha_p \cdot b \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot R_{eH}}} = 0.0158 \cdot 1,13 \cdot 850 \sqrt{\frac{285,34}{0,95 \cdot 235}} = 17,15[\text{mm}]$$

Donde:

- $C_a = \beta_a - \alpha_a \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}}$ , coeficiente de esfuerzo cortante máximo, menor a 0,95.
- $\beta_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,95.
- $\alpha_a$ , coeficiente definido en la tabla 1, 0,00.
- $R_{eH}$ , mínimo límite elástico, tomado como 235 [MPa].
- $P$ , obtenida en el apartado 4.1.1, 285,34[kN/mm<sup>2</sup>].
- $b$ , la longitud de la chapa efectiva, 850 [mm].
- $\alpha_p = 1,2 - \frac{800}{2,1 \cdot 6000} = 1,13$

Calculando mediante otra expresión:

$$t_{\text{Cajón}} = a + b \cdot L_{sc} = 10,5 [\text{mm}]$$

$$t_{2\text{Mamparo}} = 4,5 + 0.01 \cdot 300 = 7,5 [\text{mm}]$$

Se escoge por tanto una chapa de 19 [mm] de espesor nominal.

### 4.8.2 Refuerzos de los mamparos transversales

Calculando el módulo requerido;

$$Z_{\text{Mamparos}} = \frac{f_u \cdot P \cdot s \cdot l_{bdg}^2}{f_{bdg} \cdot C_s \cdot R_{eH}} = 472,08 [\text{cm}^3]$$

Donde:

- $f_{bdg}$ , factor del momento flector, 12.00, por ser refuerzos horizontales continuos.
- $f_u$ , factor corrector por asimetría, 1.03 por ser perfil de bulbo.
- $l_{bdg}$ , a partir del DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.3 S3.1.1.2, se toma como 2,25 [m], es decir, tres claras de cuaderna.



- $s$ , separación entre refuerzos, 850 [mm].
- $R_{eH}$ , límite elástico mínimo, 235 [MPa].
- $C_s$ , coeficiente de esfuerzo flector,  $C_s = \beta_s - \alpha_s \cdot \frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} = 1,75$ , se toma  $C_s = 0,95$ , por ser el coeficiente máximo.
- $\beta_s = 1.10$  y  $\alpha_s = 1.00$ , por aplicar criterios AC-II, y ser elementos longitudinales.
- $\sigma_{hg}$ , estrés longitudinal de la estructura,  $-153.43$ .
- $P$ , la presión interior del tanque,  $285,34$  [ $kN/mm^2$ ].

Luego se selecciona un perfil de llanta de bulbo de 400x14 [mm] para los refuerzos del mamparo transversal.

## 4.9 Resumen del escantillonado

Tras el dimensionamiento realizado en los apartados anteriores se obtienen los siguientes espesores y módulos para los distintos elementos:

Espesor de chapas [mm]			Refuerzos [mm]	
Fondo	Quilla	20	Fondo	280x11
	Fondo	16	Doble fondo	180x10
	Pantoque	16	Cubierta	180x08
Doble Fondo	Doble fondo	16	Brazolas	200x09
	Vagras	6,5	Cajón torsión	200x09
	Vagra estancia	9,5	Mamparos transversales	400x14
	Varengas	12,5		
Costado	Forro sobre flotación	12,5-19,0		
	Forro sumergido	16,00-19,00		
	Doble casco	4,5-19,00		
	Bulárcamas	12,5		
	Palmejares	9,5		
Cubierta	Cubierta	12,5		
	Brazolas	12,5		
Traca de Trancanil		12,5		
Cajón de torsión		12,5		
Mamparos transversales		19		

## Refuerzos del forro y del doble casco[mm]

z refuerzo [m]	Perfil comercial
29,67	060x05
28,8	060x05
27,94	100x07
27,07	100x07
26,2	100x07
25,34	120x06
24,47	120x06
23,6	120x06
22,74	120x08
21,87	120x08
21	120x08
20,14	140x07
19,27	140x07
18,4	140x07
17,54	140x07
16,67	140x07

z refuerzo [m]	Perfil comercial
15,8	140x07
14,94	140x09
14,07	140x09
13,2	140x09
12,34	160x07
11,47	160x07
10,6	160x07
9,74	160x07
8,87	160x07
8	160x07
7,14	160x08
6,27	160x08
5,4	160x08
4,54	160x09
3,67	160x09

Tabla 17. Resumen del escantillonado

Sobre el traqueado realizado en el apartado 2, resulta la siguiente especificación de cada chapa:

Traqueado [mm]														
Pf 1	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 1	12,5 [mm]	2400x6000	Ptr 1,2	12,5 [mm]	1400x6000	Pb 1	16 [mm]	2000x6000	Pdf 1	16 [mm]	1100x6000
Pf 2	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 2	12,5 [mm]	2400x6000	Pdc 1,2	12,5 [mm]	1400x6000	Pb 2	16 [mm]	2000x6000	Pdf 2	16 [mm]	2400x6000
Pf 3	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 3	12,5 [mm]	2400x6000	Pdc 3,4	12,5 [mm]	1400x6000	Pb 3	16 [mm]	2000x6000	Pdf 3	16 [mm]	2400x6000
Pf 4	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 4	12,5 [mm]	2400x6000	Pbr 1	12,5 [mm]	2250x6000	Pb 4	16 [mm]	2400x6000	Pdf 4	16 [mm]	2400x6000
Pf 5	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 5	12,5 [mm]	2400x6000	Pbr 2	12,5 [mm]	500x6000	Pb 5	16 [mm]	2400x6000	Pdf 5	16 [mm]	2400x6000
Pf 6	12,5 [mm]	2400x6000	Pd 6	12,5 [mm]	2400x6000	Pbr 3	12,5 [mm]	2200x6000	Pb 6	16 [mm]	2400x6000	Pdf 6	16 [mm]	2400x6000
Pf 7	16 [mm]	2400x6000	Pd 7	16 [mm]	2400x6000	Pp 1	16 [mm]	2400x6000	Pb 7	16 [mm]	2400x6000	Pdf 7	16 [mm]	2400x6000
Pf 8	16 [mm]	2400x6000	Pd 8	16 [mm]	2400x6000	Pp 2	16 [mm]	2400x6000	Pb 8	16 [mm]	2400x6000	Pdf 8	16 [mm]	2400x6000
Pf 9	16 [mm]	2400x6000	Pd 9	16 [mm]	2400x6000				Pb 9	16 [mm]	2400x6000	Pdf 9	16 [mm]	2400x6000
Pf 10	16 [mm]	2400x6000	Pd 10	16 [mm]	2400x6000				Pb 10	20 [mm]	2400x6000	Pdf 10	16 [mm]	2400x6000
Pf 11	19 [mm]	2400x6000	Pd 11	19 [mm]	1600x6000				Pb 11	20 [mm]	2400x6000	Pdf 11	16 [mm]	2400x6000
			Pd 12	19 [mm]	1600x6000							Pdf 12	16 [mm]	2400x6000

*Tabla 18. Especificación de chapas con espesores y dimensiones*

## 5. RESISTENCIA LONGITUDINAL

En este apartado se procederá a comprobar si la cuaderna diseñada cumple con los requisitos mínimos.

Esta comprobación es necesaria, al haber escogido algunas componentes de cálculo, como la inercia, con valores aproximados o estimados.

### 5.2 Inercia y área obtenidos

El primer paso será calcular la inercia y el área de la cuaderna maestra diseñada.

Para ello se realizarán los siguientes cálculos, contando todos los elementos:

En primer lugar, se calculará la inercia respecto a la línea base:

$$I_o = \sum A \cdot z^2 + \sum I_p$$

A continuación, se calculará la posición del eje neutro respecto a la línea base:

$$e_n = \frac{\sum A \cdot z}{\sum A}$$

Finalmente se calcula el módulo del eje neutro calculado anteriormente:

$$W_N = W_B = \frac{I_o}{e_n}$$

Se muestran en el anexo las tablas generadas en Excel para el cálculo de la inercia de cada uno de los elementos.

Tras realizar los cálculos anteriormente expuestos, se obtienen los siguientes resultados:

$$I_o = 1319,025 [m^4]$$

$$e_n = 13,34 [m]$$

$$W_n = 98,84 [m^3]$$

Comparando los resultados obtenidos con los valores mínimos estipulados por el reglamento:

$I_{min} = 987,6 [m^4]$ , tal y como se calculó en el apartado 4.2.1.1.

$$W_{B min} = f_1 \cdot k_1 \cdot C_1 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-6} = 47,64 [m^3]$$

Con:

- $f_1 = 0,5$ , el factor de servicio, que no ha de tomarse menor a 0,5.
- $k_1 = 1$ , factor dependiente del material, para acero naval convencional 1.
- $C_1 = 10,75$ , coeficiente de ola, al ser un buque mayor de 300 [m] de eslora y menor a 350 [m].

Se observa que la cuaderna diseñada cumple con el módulo y la inercia mínimos desde la línea base requeridas por el reglamento.

Se adjunta a continuación la cuaderna maestra final diseñada.

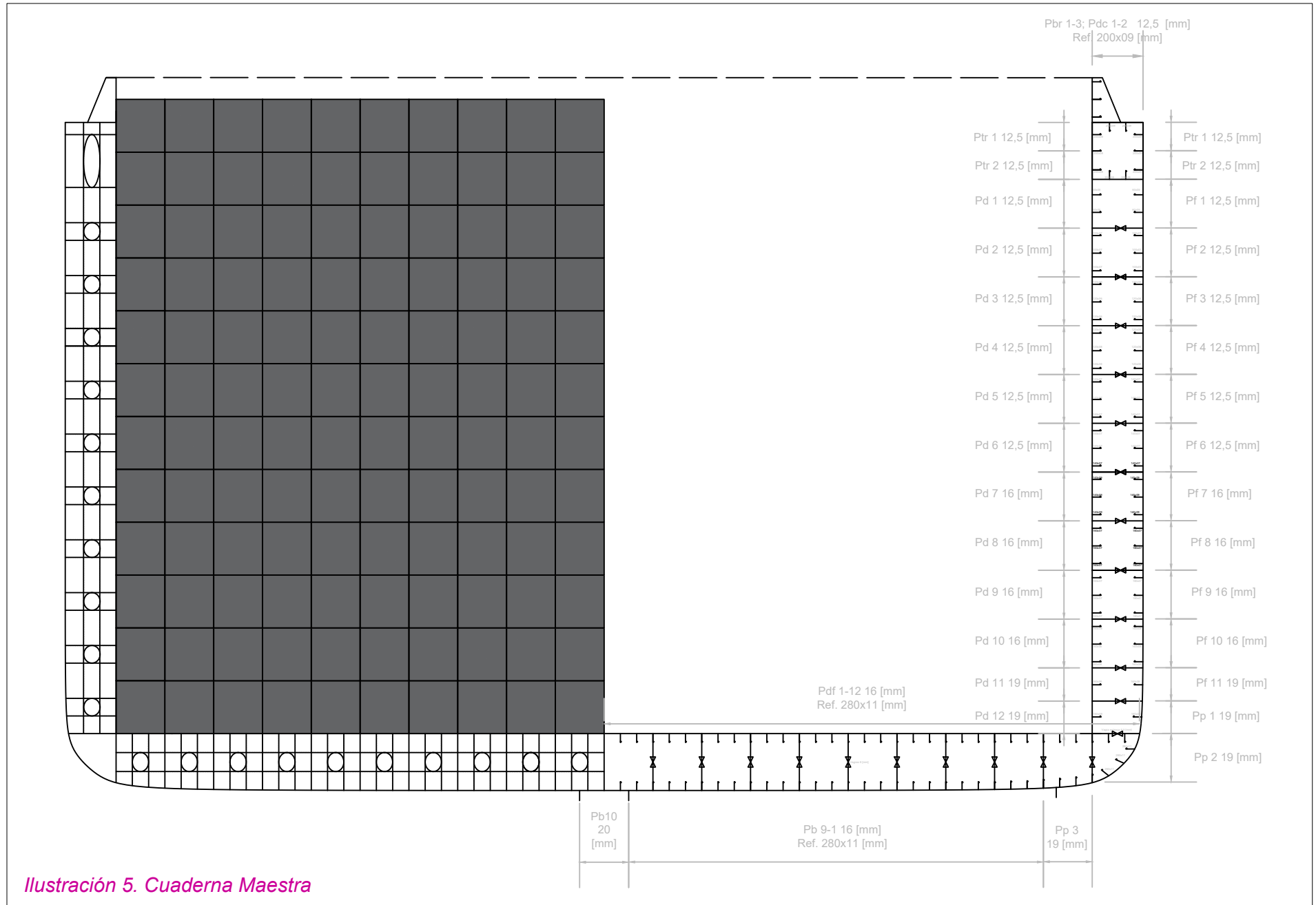


Ilustración 5. Cuaderna Maestra

## ANEXO 1. CATÁLOGO DE BULBOS

Nominal size  HP	Dimensions for				Area of section  Cm <sup>2</sup>	Surface area  m <sup>2</sup> /m	Distance of centre gravity  cm	Geometric properties about	
	B	E	C	R				x-x axis I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup> Elastic modules	I <sub>x</sub> d <sub>x</sub> cm <sup>4</sup> Moment of inertia
060 x 04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
060 x 05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
080 x 05	80	5	14	4	-	-	-	-	-
080 x 06	80	6	14	4	6,21	0,192	4,78	39,0	8,15
080 x 07	80	7	14	4	7,00	0,194	4,69	43,3	9,24
100 x 06	100	6	15,5	4,5	-	-	-	-	-
100 x 07	100	7	15,5	4,5	8,74	0,236	5,87	85,3	14,5
100 x 08	100	8	15,5	4,5	9,74	0,238	5,78	94,3	16,3
120 x 06	120	6	17	5	9,32	-	-	-	-
120 x 07	120	7	17	5	10,52	0,278	7,07	148	21,0
120 x 08	120	8	17	5	11,72	0,280	6,96	164	23,6
140 x 07	140	7	19	5,5	12,43	0,320	8,31	241	29,0
140 x 08	140	8	19	5,5	13,83	0,322	8,18	266	32,5
140 x 09	140	9	19	5,5	16,63	-	-	-	-
160 x 07	160	7	22	6	14,60	0,365	9,66	373	38,6
160 x 08	160	8	22	6	16,20	0,367	9,49	411	43,3
160 x 09	160	9	22	6	17,80	0,369	9,36	448	47,9
180 x 08	180	8	25	7	18,86	0,411	10,9	609	55,9
180 x 09	180	9	25	7	20,66	0,413	10,7	663	61,8
180 x 10	180	10	25	7	22,46	0,415	10,6	717	67,8
200 x 09	200	9	28	8	23,66	0,457	12,1	941	77,7
200 x 10	200	10	28	8	25,66	0,459	11,9	1020	85,0
200 x 12	200	12	28	8	29,66	0,462	11,7	1126	96,2
220 x 10	220	10	31	9	29,00	0,503	13,4	1400	105
220 x 12	220	12	31	9	33,40	0,506	13,1	1550	118
240 x 10	240	10	34	10	32,49	0,547	14,7	1860	126
240 x 11	240	11	34	10	34,89	0,549	14,6	2000	137
240 x 12	240	12	34	10	37,29	0,551	14,4	2130	148
260 x 10	260	10	37	11	36,11	0,593	16,2	2477	153
260 x 11	260	11	37	11	38,71	0,593	16,0	2610	162
260 x 12	260	12	37	11	41,31	0,595	15,8	2770	175
280 x 11	280	11	40	12	42,68	0,637	17,4	3330	191
280 x 12	280	12	40	12	45,48	0,639	17,2	3550	206
300 x 11	300	11	43	13	46,78	0,681	18,9	4190	222
300 x 12	300	12	43	13	49,79	0,683	18,7	4460	239
300 x 13	300	13	43	13	52,79	0,685	18,5	4270	256
320 x 12	320	12	46	14	54,25	0,728	20,1	5530	274
320 x 13	320	13	46	14	57,45	0,730	19,9	5850	294
320 x 14	320	14	46	14	60,85	-	-	-	-
340 x 12	340	12	49	15	58,84	0,772	21,5	6760	313
340 x 14	340	14	49	15	65,54	0,776	21,1	7540	357
370 x 13	370	13	53,5	16,5	69,70	0,840	23,5	9470	402
370 x 15	370	15	53,5	16,5	77,10	0,844	23,0	10490	455
400 x 14	400	14	58	18	81,48	0,908	25,5	12930	507
400 x 16	400	16	58	18	89,48	0,912	25,0	14220	568
430 x 15	430	15	62,5	19,5	94,19	0,976	27,4	17260	628
430 x 17	430	17	62,5	19,5	102,79	0,980	26,9	18860	700

## ANEXO 2. CATÁLOGO DE PLANCHAS

NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%	
ASTM A-131 GRADO A	24 min	41-53	21 min	LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING - GRADO A (LRA)

### DIMENSIONES STANDARD Y PESOS

SISTEMA METRICO (mms)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mms	PESO TEORICO kg/pl	SISTEMA INGLES Espesor Equiv.(pulg)
3.0 x 1220 x 6000	0.32 / 0.32	172.38	1/8"
4.5 x 1500 x 6000	0.50 / 0.50	317.93	3/16"
6.4 x 1800 x 6000	0.8 / 0.3	542.59	1/4"
6.4 x 2,400 x 6000	0.8 / 0.3	723.46	1/4"
8.0 x 1,800 x 6000	0.8 / 0.3	678.24	5/16"
8.0 x 2,400 x 6000	0.8 / 0.3	904.32	5/16"
9.5 x 1,800 x 6000	0.8 / 0.3	805.41	3/8"
9.5 x 2,400 x 6000	0.8 / 0.3	1,073.88	3/8"
12.5 x 1,800 x 6000	0.8 / 0.3	1,059.76	1/2"
12.5 x 2,400 x 6000	0.9 / 0.3	1,413.00	1/2"
16.0 x 1,800 x 6000	0.8 / 0.3	1,356.48	5/8"
16.0 x 2,400 x 6000	0.9 / 0.3	1,808.64	5/8"
19.0 x 1,800 x 6000	0.8 / 0.3	1,610.82	3/4"
19.0 x 2400 x 6000	1.0 / 0.3	2147.76	3/4"
25.0 x 1800 x 6000	1.0 / 0.3	2119.6	1"
25.0 x 2400 x 6000	1.2 / 0.3	2826	1"
32.0 x 1,800 x 6000	1.3 / 0.3	2712.96	1 1/4"
32.0 x 2,400 x 6000	1.5 / 0.3	3617.28	1 1/4"
38.0 x 1,800 x 6000	1.5 / 0.3	3221.64	1 1/2"
38.0 x 2,400 x 6000	1.7 / 0.3	4295.52	1 1/2"
50.0 x 1,800 x 6000	2.0 / 0.3	4239	2"
50.0 x 2,400 x 6000	2.0 / 0.3	5652	2"



## ANEXO 3. INERCIAS CALCULADAS

	ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I	
Chapas Fondo	Quilla	0,020	4,800	0,020	0,096	0,002	0,000	0,000	0,000	
	Estribor	0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	Babor	0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,016	2,400	0,016	0,038	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	Vagras Fondo	Babor	2,800	0,010	1,400	0,027	0,037	0,017	0,052	0,070
Estribor		2,800	0,007	1,400	0,018	0,025	0,012	0,036	0,048	
Central		2,800	0,007	1,400	0,018	0,025	0,012	0,036	0,048	
Chapas Doble Fondo	babor	0,016	1,100	20,008	0,018	0,352	0,000	7,046	7,046	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
	Estribor	0,016	1,100	20,008	0,018	0,352	0,000	7,046	7,046	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372	

	ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372
		0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372
	Central	0,016	2,400	20,008	0,038	0,768	0,000	15,372	15,372
Chapas forro exterior	Babor	2,400	0,013	31,670	0,030	0,950	0,014	30,090	30,104
		2,400	0,013	29,270	0,030	0,878	0,014	25,702	25,716
		2,400	0,013	26,870	0,030	0,806	0,014	21,660	21,674
		2,400	0,013	24,470	0,030	0,734	0,014	17,963	17,978
		2,400	0,013	22,070	0,030	0,662	0,014	14,613	14,627
		2,400	0,013	19,670	0,030	0,590	0,014	11,607	11,622
		2,400	0,016	17,270	0,038	0,663	0,018	11,453	11,471
		2,400	0,016	14,870	0,038	0,571	0,018	8,491	8,509
		2,400	0,016	12,470	0,038	0,479	0,018	5,971	5,990
		2,400	0,016	10,070	0,038	0,387	0,018	3,894	3,912
	2,400	0,019	7,670	0,046	0,350	0,022	2,683	2,704	
	Estribor	2,400	0,013	31,670	0,030	0,950	0,014	30,090	30,104
		2,400	0,013	29,270	0,030	0,878	0,014	25,702	25,716
		2,400	0,013	26,870	0,030	0,806	0,014	21,660	21,674
		2,400	0,013	24,470	0,030	0,734	0,014	17,963	17,978
		2,400	0,013	22,070	0,030	0,662	0,014	14,613	14,627
		2,400	0,013	19,670	0,030	0,590	0,014	11,607	11,622
		2,400	0,016	17,270	0,038	0,663	0,018	11,453	11,471
		2,400	0,016	14,870	0,038	0,571	0,018	8,491	8,509
		2,400	0,016	12,470	0,038	0,479	0,018	5,971	5,990
2,400		0,016	10,070	0,038	0,387	0,018	3,894	3,912	
2,400	0,019	7,670	0,046	0,350	0,022	2,683	2,704		
Chapas Doble casco	Babor	2,400	0,019	31,670	0,046	1,444	0,022	45,736	45,758
		2,400	0,019	29,270	0,046	1,335	0,022	39,067	39,089
		2,400	0,019	26,870	0,046	1,225	0,022	32,923	32,945
		2,400	0,019	24,470	0,046	1,116	0,022	27,304	27,326
		2,400	0,019	22,070	0,046	1,006	0,022	22,211	22,233
		2,400	0,019	19,670	0,046	0,897	0,022	17,643	17,665
		2,400	0,019	17,270	0,046	0,788	0,022	13,600	13,622
		2,400	0,019	14,870	0,046	0,678	0,022	10,083	10,105
		2,400	0,019	12,470	0,046	0,569	0,022	7,091	7,113
		2,400	0,019	10,070	0,046	0,459	0,022	4,624	4,646
		2,400	0,019	7,670	0,046	0,350	0,022	2,683	2,704
		2,400	0,019	5,270	0,046	0,240	0,022	1,266	1,288
		1,250	0,019	2,870	0,024	0,068	0,003	0,196	0,199
	Estribor	2,400	0,019	31,670	0,046	1,444	0,022	45,736	45,758

	ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I
		2,400	0,019	29,270	0,046	1,335	0,022	39,067	39,089
		2,400	0,019	26,870	0,046	1,225	0,022	32,923	32,945
		2,400	0,019	24,470	0,046	1,116	0,022	27,304	27,326
		2,400	0,019	22,070	0,046	1,006	0,022	22,211	22,233
		2,400	0,019	19,670	0,046	0,897	0,022	17,643	17,665
		2,400	0,019	17,270	0,046	0,788	0,022	13,600	13,622
		2,400	0,019	14,870	0,046	0,678	0,022	10,083	10,105
		2,400	0,019	12,470	0,046	0,569	0,022	7,091	7,113
		2,400	0,019	10,070	0,046	0,459	0,022	4,624	4,646
		2,400	0,019	7,670	0,046	0,350	0,022	2,683	2,704
		2,400	0,019	5,270	0,046	0,240	0,022	1,266	1,288
		1,250	0,019	2,870	0,024	0,068	0,003	0,196	0,199
Chapas cajón torsión	babor	1,400	0,013	5,270	0,018	0,092	0,003	0,486	0,489
		1,400	0,013	2,870	0,018	0,050	0,003	0,144	0,147
	Superior	0,013	2,400	4,506	0,030	0,135	0,000	0,609	0,609
	Inferior	0,013	2,400	2,022	0,030	0,061	0,000	0,123	0,123
	Estribor	1,400	0,013	5,270	0,018	0,092	0,003	0,486	0,489
		1,400	0,013	2,870	0,018	0,050	0,003	0,144	0,147
Chapas brazolas	Babor	0,013	1,400	32,870	0,018	0,575	0,000	18,908	18,908
		0,013	1,400	32,870	0,018	0,575	0,000	18,908	18,908
		0,013	0,500	32,870	0,006	0,205	0,000	6,753	6,753
		0,500	0,013	32,870	0,006	0,205	0,000	6,753	6,753
		2,200	0,013	32,870	0,028	0,904	0,011	29,712	29,723
	Estribor	0,013	1,400	32,870	0,018	0,575	0,000	18,908	18,908
		0,013	1,400	32,870	0,018	0,575	0,000	18,908	18,908
		0,013	0,500	32,870	0,006	0,205	0,000	6,753	6,753
		0,500	0,013	32,870	0,006	0,205	0,000	6,753	6,753
		2,200	0,013	32,870	0,028	0,904	0,011	29,712	29,723
Refuerzos fondos	Babor	280x11		0,174	0,149	0,026	0,001	0,005	0,006
	Estribor	280x11		0,174	0,149	0,026	0,001	0,005	0,006
Refuerzos doble fondo	Babor	180x10		1,894	0,074	0,140	0,000	0,266	0,266
	Estribor	180x10		1,894	0,074	0,140	0,000	0,266	0,266
Refuerzos forro	Babor	060x05		29,670	0,001	0,018	0,000	0,547	0,547
		060x05		28,803	0,001	0,018	0,000	0,515	0,515
		100x07		27,937	0,001	0,024	0,000	0,682	0,682
		100x07		27,070	0,001	0,024	0,000	0,640	0,640
		100x07		26,203	0,001	0,023	0,000	0,600	0,600
		120x06		25,337	0,001	0,024	0,000	0,598	0,598
		120x06		24,470	0,001	0,023	0,000	0,558	0,558
		120x06		23,603	0,001	0,022	0,000	0,519	0,519
		120x08		22,737	0,001	0,022	0,000	0,504	0,504
		120x08		21,870	0,001	0,021	0,000	0,466	0,466
		120x08		21,003	0,001	0,020	0,000	0,430	0,430

ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I
	140x07		20,137	0,001	0,025	0,000	0,504	0,504
	140x07		19,270	0,001	0,024	0,000	0,462	0,462
	140x07		18,403	0,001	0,023	0,000	0,421	0,421
	140x07		17,537	0,001	0,022	0,000	0,382	0,382
	140x07		16,670	0,001	0,021	0,000	0,345	0,345
	140x07		15,803	0,001	0,020	0,000	0,310	0,310
	140x09		14,937	0,002	0,025	0,000	0,371	0,371
	140x09		14,070	0,002	0,023	0,000	0,329	0,329
	140x09		13,203	0,002	0,022	0,000	0,290	0,290
	160x07		12,337	0,001	0,018	0,000	0,222	0,222
	160x07		11,470	0,001	0,017	0,000	0,192	0,192
	160x07		10,603	0,001	0,015	0,000	0,164	0,164
	160x07		9,737	0,001	0,014	0,000	0,138	0,138
	160x07		8,870	0,001	0,013	0,000	0,115	0,115
	160x07		8,003	0,001	0,012	0,000	0,094	0,094
	160x08		7,137	0,002	0,012	0,000	0,083	0,083
	160x08		6,270	0,002	0,010	0,000	0,064	0,064
	160x08		5,403	0,002	0,009	0,000	0,047	0,047
	160x09		4,537	0,002	0,008	0,000	0,037	0,037
	160x09		3,670	0,002	0,007	0,000	0,024	0,024
	060x05		29,670	0,001	0,018	0,000	0,547	0,547
	060x05		28,803	0,001	0,018	0,000	0,515	0,515
	100x07		27,937	0,001	0,024	0,000	0,682	0,682
	100x07		27,070	0,001	0,024	0,000	0,640	0,640
	100x07		26,203	0,001	0,023	0,000	0,600	0,600
	120x06		25,337	0,001	0,024	0,000	0,598	0,598
	120x06		24,470	0,001	0,023	0,000	0,558	0,558
	120x06		23,603	0,001	0,022	0,000	0,519	0,519
	120x08		22,737	0,001	0,022	0,000	0,504	0,504
	120x08		21,870	0,001	0,021	0,000	0,466	0,466
	120x08		21,003	0,001	0,020	0,000	0,430	0,430
	140x07		20,137	0,001	0,025	0,000	0,504	0,504
	140x07		19,270	0,001	0,024	0,000	0,462	0,462
	140x07		18,403	0,001	0,023	0,000	0,421	0,421
	140x07		17,537	0,001	0,022	0,000	0,382	0,382
	140x07		16,670	0,001	0,021	0,000	0,345	0,345
	140x07		15,803	0,001	0,020	0,000	0,310	0,310
	140x09		14,937	0,002	0,025	0,000	0,371	0,371
	140x09		14,070	0,002	0,023	0,000	0,329	0,329
	140x09		13,203	0,002	0,022	0,000	0,290	0,290
	160x07		12,337	0,001	0,018	0,000	0,222	0,222
	160x07		11,470	0,001	0,017	0,000	0,192	0,192
	160x07		10,603	0,001	0,015	0,000	0,164	0,164

	ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I
			160x07	9,737	0,001	0,014	0,000	0,138	0,138
	160x07	8,870	0,001	0,013	0,000	0,115	0,115		
	160x07	8,003	0,001	0,012	0,000	0,094	0,094		
	160x08	7,137	0,002	0,012	0,000	0,083	0,083		
	160x08	6,270	0,002	0,010	0,000	0,064	0,064		
	160x08	5,403	0,002	0,009	0,000	0,047	0,047		
	160x09	4,537	0,002	0,008	0,000	0,037	0,037		
	160x09	3,670	0,002	0,007	0,000	0,024	0,024		
Refuerzos doble casco	Babor	060x05	29,670	0,001	0,018	0,000	0,547	0,547	
		060x05	28,803	0,001	0,018	0,000	0,515	0,515	
		100x07	27,937	0,001	0,024	0,000	0,682	0,682	
		100x07	27,070	0,001	0,024	0,000	0,640	0,640	
		100x07	26,203	0,001	0,023	0,000	0,600	0,600	
		120x06	25,337	0,001	0,024	0,000	0,598	0,598	
		120x06	24,470	0,001	0,023	0,000	0,558	0,558	
		120x06	23,603	0,001	0,022	0,000	0,519	0,519	
		120x08	22,737	0,001	0,022	0,000	0,504	0,504	
		120x08	21,870	0,001	0,021	0,000	0,466	0,466	
		120x08	21,003	0,001	0,020	0,000	0,430	0,430	
		140x07	20,137	0,001	0,025	0,000	0,504	0,504	
		140x07	19,270	0,001	0,024	0,000	0,462	0,462	
		140x07	18,403	0,001	0,023	0,000	0,421	0,421	
		140x07	17,537	0,001	0,022	0,000	0,382	0,382	
		140x07	16,670	0,001	0,021	0,000	0,345	0,345	
		140x07	15,803	0,001	0,020	0,000	0,310	0,310	
		140x09	14,937	0,002	0,025	0,000	0,371	0,371	
		140x09	14,070	0,002	0,023	0,000	0,329	0,329	
		140x09	13,203	0,002	0,022	0,000	0,290	0,290	
		160x07	12,337	0,001	0,018	0,000	0,222	0,222	
		160x07	11,470	0,001	0,017	0,000	0,192	0,192	
		160x07	10,603	0,001	0,015	0,000	0,164	0,164	
		160x07	9,737	0,001	0,014	0,000	0,138	0,138	
		160x07	8,870	0,001	0,013	0,000	0,115	0,115	
		160x07	8,003	0,001	0,012	0,000	0,094	0,094	
		160x08	7,137	0,002	0,012	0,000	0,083	0,083	
		160x08	6,270	0,002	0,010	0,000	0,064	0,064	
	160x08	5,403	0,002	0,009	0,000	0,047	0,047		
	160x09	4,537	0,002	0,008	0,000	0,037	0,037		
	160x09	3,670	0,002	0,007	0,000	0,024	0,024		
	Estribor	060x05	29,670	0,001	0,018	0,000	0,547	0,547	
		060x05	28,803	0,001	0,018	0,000	0,515	0,515	
100x07		27,937	0,001	0,024	0,000	0,682	0,682		
100x07		27,070	0,001	0,024	0,000	0,640	0,640		

ELEMENTO	H	B	ZG	A	A·Z	$i_{ee}$	$A \cdot ZG^2$	I
		100x07		26,203	0,001	0,023	0,000	0,600
	120x06		25,337	0,001	0,024	0,000	0,598	0,598
	120x06		24,470	0,001	0,023	0,000	0,558	0,558
	120x06		23,603	0,001	0,022	0,000	0,519	0,519
	120x08		22,737	0,001	0,022	0,000	0,504	0,504
	120x08		21,870	0,001	0,021	0,000	0,466	0,466
	120x08		21,003	0,001	0,020	0,000	0,430	0,430
	140x07		20,137	0,001	0,025	0,000	0,504	0,504
	140x07		19,270	0,001	0,024	0,000	0,462	0,462
	140x07		18,403	0,001	0,023	0,000	0,421	0,421
	140x07		17,537	0,001	0,022	0,000	0,382	0,382
	140x07		16,670	0,001	0,021	0,000	0,345	0,345
	140x07		15,803	0,001	0,020	0,000	0,310	0,310
	140x09		14,937	0,002	0,025	0,000	0,371	0,371
	140x09		14,070	0,002	0,023	0,000	0,329	0,329
	140x09		13,203	0,002	0,022	0,000	0,290	0,290
	160x07		12,337	0,001	0,018	0,000	0,222	0,222
	160x07		11,470	0,001	0,017	0,000	0,192	0,192
	160x07		10,603	0,001	0,015	0,000	0,164	0,164
	160x07		9,737	0,001	0,014	0,000	0,138	0,138
	160x07		8,870	0,001	0,013	0,000	0,115	0,115
	160x07		8,003	0,001	0,012	0,000	0,094	0,094
	160x08		7,137	0,002	0,012	0,000	0,083	0,083
	160x08		6,270	0,002	0,010	0,000	0,064	0,064
	160x08		5,403	0,002	0,009	0,000	0,047	0,047
	160x09		4,537	0,002	0,008	0,000	0,037	0,037
	160x09		3,670	0,002	0,007	0,000	0,024	0,024
	160x09		2,803	0,002	0,005	0,000	0,014	0,014
	160x09		1,937	0,002	0,003	0,000	0,007	0,007
	160x09		1,070	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002
Refuerzos cajón de torisión	Babor	200x09	30,150	0,002	0,071	0,000	2,151	2,151
		200x09	29,300	0,002	0,069	0,000	2,031	2,031
	Estribor	200x09	30,150	0,002	0,071	0,000	2,151	2,151
		200x09	29,300	0,002	0,069	0,000	2,031	2,031
	Superior	200x09	31,000	0,005	0,147	0,000	4,547	4,547
	Inferior	200x09	28,200	0,005	0,133	0,000	3,763	3,763
			3953,087	4,500	60,058	0,974	1318,050	1319,025