



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escuela Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**

**CURSO 2019/20**

---

*BULKARRIER PORTACONTENEDORES  
40 000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA**

Marta González García

**TUTOR**

Vicente Díaz Casás

**FECHA**

DICIEMBRE 2019

# TÍTULO Y RESUMEN

## 1.1 Título y Resumen

En este trabajo, se va a desarrollar el anteproyecto de un buque bulkcarrier portacontenedores de 40 000 t. Primeramente vamos a realizar un dimensionamiento preliminar, así como una predicción de potencia. Cabe destacar que la elección de las dimensiones del buque se ha hecho teniendo en cuenta varias combinaciones posibles, tomando como cifra de mérito el coste del buque.

Posteriormente, se procederá a un cálculo más detallado de los pesos del buque, así como a una definición de las formas del casco.

También detallaremos el compartimentado del buque, el cálculo de estabilidad en las diferentes situaciones de carga, una predicción de potencia más detallada, así como el diseño del timón y el cálculo del servomotor.

Llevaremos a cabo el cálculo estructural básico del buque, según el Bureau Veritas.

Con los datos obtenidos a lo largo del proyecto, elaboraremos los planos de disposición general del buque.

También se hará el cálculo del balance eléctrico del buque en las diferentes situaciones de demanda eléctrica.

Por último, haremos el cálculo del coste del buque, detallando cada partida.

## 1.2 Título e Resumo

Neste traballo, váise desenrolar o anteprojecto dun buque bulkcarrier portacontenedores de 40 000 t. Primeiramente imos face-lo dimensionamento preliminar, así coma unha predición de potencia. É preciso destacar que a elección das dimensións do buque fíxose tendo en conta varias combinacións posibles, tomando como cifra de mérito o coste do buque.

Posteriormente, procederáse a un cálculo máis detallado dos pesos do buque, así coma a unha definición das formas do casco.

Tamén detallaremos o compartimentado do buque, o cálculo da estabilidade nas diferentes situacións de carga, unha predición de potencia máis detallada, así coma o deseño do timón e o cálculo do servomotor.

Levaremos a cabo o cálculo estrutural básico do buque, según o Bureau Veritas.

Cos datos obtidos ó longo do proxecto, elaboraremos os planos de disposición xeral do buque.

Tamén se fará o cálculo do balance eléctrico do buque nas diferentes situacións de demanda eléctrica.

Por último, faremos o cálculo do coste do buque, detallando cada partida.

### **1.3 Tittle and Abstract**

In this project will be developed the pre-project of a containership bulkcarrier of 40 000 tn. In the first place, it makes a preliminary sizing and power prediction. Its necessary to be noticed that the dimensions were choosen by making several posible combinations taking the minimun building cost as the criteria to minimize.

After that, it makes a more detailed calculation of the ship weights as well as a definition of the hull shapes.

It is also detailed the behaviour of the ship, the stability calculation in all the diferent cargo situations, a more detailed power prediction as well as the rudder design and the servo calculation.

In addition to that, it develops a basic stuctural calculation of the ship according to the Bureau Veritas.

With all the obtained data in the project, it will obtain the drawing of the ship general arrangement.

It also elaborates the electric balance for all the diferent situations of electric demanding.

Finally, it makes the calculation of the cost of the ship, detailing each item.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escuela Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2019/20**

---

*BULKCARRIER PORTACONTENEDORES  
40 000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno 8**

**CUADERNA MAESTRA**

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

CURSO 2 019-2 020

**PROYECTO NÚMERO: 18-14**

**TIPO DE BUQUE:** *Bulkcarrier y Portacontenedores*

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** *Bureau Veritas, MARPOL, SOLAS.*

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** *40 000 TPM. Grano, mineral, carbón. 2 Pilas de contenedores / madera sobre las tapas de escotillas. Madera.*

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** *15 nudos en condiciones de servicio al 85% MCR y 15% de margen de mar. 12 000 millas a la velocidad de servicio.*

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** *Escotillas de accionamiento hidráulico. Con grúas carga-descarga.*

**PROPULSIÓN:** *Motor diésel acoplado a una hélice de paso fijo. LNG para operaciones en puerto.*

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** *20 personas.*

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

Ferrol, 11 de marzo de 2019

ALUMNA: **D<sup>a</sup> Marta González García**

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1.	CONTENIDO A DESARROLLAR EN EL PRESENTE CUADERNO .....	3
1.2.	PRESENTACIÓN.....	3
<b>2.</b>	<b>PARTICULARIDADES A TENER EN CUENTA .....</b>	<b>4</b>
2.1.	TIPO DE ESTRUCTURA .....	4
2.2.	DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DEL CASCO .....	4
2.2.1.	<i>Fondo y doble fondo</i> .....	4
2.2.2.	<i>Costados</i> .....	4
2.2.3.	<i>Cubierta</i> .....	5
2.3.	TIPO DE MATERIAL A EMPLEAR.....	5
2.4.	MARGEN DE CORROSIÓN .....	6
<b>3.</b>	<b>DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO .....</b>	<b>7</b>
3.1.	CALADO DE ESCANTILLONADO .....	7
3.2.	ESLORA DE ESCANTILLONADO.....	8
3.3.	MANGA DE ESCANTILLONADO.....	8
3.4.	PUNTAL DE ESCANTILLONADO .....	8
3.5.	COEFICIENTE DE BLOQUE.....	8
3.6.	RESUMEN DIMENSIONES ESCANTILLONADO.....	8
<b>4.</b>	<b>PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL BUQUE.....</b>	<b>10</b>
4.1.	COEFICIENTE DE NAVEGACIÓN.....	10
4.2.	PARÁMETROS DE LA OLA .....	10
4.3.	PARÁMETRO DE OLA, EN M .....	10
4.4.	PARÁMETRO DE ACELERACIÓN Y MOVIMIENTO .....	10
4.5.	VALOR DE REFERENCIA DEL MOVIMIENTO RELATIVO DEL BUQUE.....	11
4.6.	VALORES DE REFERENCIA DE LAS ACELERACIONES .....	11
4.6.1.	<i>Aceleración longitudinal</i> .....	11
4.6.2.	<i>Aceleración transversal</i> .....	12
4.6.3.	<i>Aceleración vertical</i> .....	12
4.7.	RESUMEN PARÁMETROS.....	12
<b>5.</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO .....</b>	<b>14</b>
5.1.	INFORMACIÓN PREVIA .....	14
5.2.	CARGAS INDUCIDAS POR OLAS.....	15
5.3.	CARGAS INDUCIDAS EN AGUAS TRANQUILAS .....	16
<b>6.</b>	<b>MÓDULO E INERCIA MÍNIMA DE LA SECCIÓN MAESTRA .....</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE DISEÑO .....</b>	<b>18</b>
7.1.	PRESIONES EXTERNAS INDUCIDAS POR AGUAS TRANQUILAS .....	18
7.1.1.	<i>Presiones en los costados y el fondo del buque</i> .....	18
7.2.	PRESIONES EXTERNAS EN CUBIERTAS EXPUESTAS .....	18
7.3.	PRESIONES EXTERNAS INDUCIDAS POR OLAS .....	19
7.3.1.	<i>Presiones en los costados y el fondo del buque</i> .....	19
7.3.2.	<i>Presiones inducidas por olas en cubiertas expuestas</i> .....	20
7.4.	PRESIONES INTERNAS INDUCIDAS EN TANQUES POR AGUAS TRANQUILAS .....	21
7.4.1.	<i>Presiones internas inducidas por cargas sólidas a granel</i> .....	21

7.4.2.	<i>Presiones internas inducidas por líquidos</i> .....	22
<b>8.</b>	<b>CÁLCULO DE LAS PRESIONES EN LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA</b> .....	<b>24</b>
8.1.	CHAPA DE FONDO .....	24
8.1.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	24
8.1.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	24
8.1.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	24
8.1.4.	<i>Resumen presiones chapa de fondo</i> .....	25
8.2.	CHAPA DE COSTADO.....	25
8.2.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	25
8.2.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	25
8.2.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	25
8.2.4.	<i>Resumen presiones chapa de costado</i> .....	26
8.3.	CHAPA DE DOBLE FONDO .....	26
8.3.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	26
8.3.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	26
8.3.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	26
8.3.4.	<i>Resumen presiones chapa de doble fondo</i> .....	28
8.4.	CHAPA DEL PANTOQUE .....	28
8.4.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	28
8.4.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	28
8.4.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	28
8.4.4.	<i>Resumen presiones chapa de pantoque</i> .....	29
8.5.	CHAPA TOLVA SUPERIOR .....	29
8.5.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	29
8.5.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	29
8.5.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	29
8.5.4.	<i>Resumen presiones chapa de tolva superior</i> .....	30
8.6.	CHAPA CUBIERTA .....	30
8.6.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas</i> .....	30
8.6.2.	<i>Presión externa inducida por olas</i> .....	31
8.6.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas</i> .....	31
8.6.1.	<i>Resumen presiones chapa de cubierta expuesta</i> .....	32
8.7.	RESUMEN PRESIONES .....	32
<b>9.</b>	<b>ESCANTILLONADO DE LAS CHAPAS</b> .....	<b>34</b>
9.1.	METODOLOGÍA A SEGUIR.....	34
9.2.	CHAPA DE FONDO .....	38
9.2.1.	<i>Espesor mínimo fondo</i> .....	38
9.2.2.	<i>Espesor mínimo quilla</i> .....	38
9.2.3.	<i>Espesor chapa de fondo</i> .....	39
9.2.4.	<i>Resumen espesor chapa de fondo</i> .....	40
9.3.	CHAPA DE COSTADO.....	40
9.3.1.	<i>Espesor mínimo costado</i> .....	40
9.3.2.	<i>Espesor chapa de costado</i> .....	40
9.3.3.	<i>Resumen espesor chapa de costado</i> .....	42
9.4.	CHAPA DE DOBLE FONDO .....	42
9.4.1.	<i>Espesor mínimo doble fondo</i> .....	42
9.4.2.	<i>Espesor chapa de doble fondo</i> .....	42
9.4.3.	<i>Resumen espesor chapa de doble fondo</i> .....	43

9.5.	CHAPA DEL PANTOQUE .....	44
9.5.1.	<i>Resumen espesor chapa de pantoque</i> .....	45
9.6.	CHAPA TOLVA SUPERIOR .....	46
9.6.1.	<i>Espesor mínimo tolva superior</i> .....	46
9.6.2.	<i>Espesor chapa de tolva superior</i> .....	46
9.6.3.	<i>Resumen espesor chapa de tolva superior</i> .....	47
9.7.	CHAPA CUBIERTA .....	47
9.7.1.	<i>Espesor mínimo cubierta</i> .....	47
9.7.2.	<i>Espesor chapa de cubierta</i> .....	48
9.7.3.	<i>Resumen espesor chapa de cubierta</i> .....	49
9.8.	RESUMEN DE LOS ESPESORES DE CHAPA .....	49
<b>10.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS PRIMARIOS .....</b>	<b>50</b>
10.1.	VARENGA .....	50
10.2.	BULÁRCAMA .....	51
10.3.	BAO.....	52
<b>11.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS LONGITUDINALES .....</b>	<b>54</b>
11.1.	LONGITUDINALES DE FONDO.....	56
11.2.	LONGITUDINALES DEL DOBLE FONDO .....	57
11.3.	LONGITUDINALES DEL CASCO.....	59
11.4.	LONGITUDINALES DE CUBIERTA .....	60
11.5.	LONGITUDINALES DE PANTOQUE .....	61
11.6.	LONGITUDINALES TOLVA INFERIOR.....	62
11.7.	LONGITUDINALES TOLVA SUPERIOR.....	63
<b>12.</b>	<b>COMPROBACIÓN DEL MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA .....</b>	<b>65</b>
<b>13.</b>	<b>TABLA RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO I.....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO II.....</b>	<b>71</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contenido a desarrollar en el presente cuaderno

- Presentación. Introducción al cuaderno. Descripción de características del buque proyecto.
- Diseño conceptual de la cuaderna maestra. Definición de las dimensiones de escantillado, así como de todos los parámetros necesarios para la realización del escantillado local de la cuaderna maestra.
- Diseño conceptual de la cuaderna maestra. Planteamiento del diseño conceptual de la cuaderna maestra basándose en un buque de referencia.
- Escantillado local de la cuaderna maestra. Cálculo del escantillado local de la cuaderna maestra, según los criterios de buque de carga general, para las siguientes zonas:
  - Escantillado local de la cubierta resistente. Cálculo de un elemento primario, uno secundario y una chapa de cubierta resistente.
  - Escantillado local del fondo. Cálculo de un elemento primario, uno secundario y una chapa de fondo.
  - Escantillado local del costado. Cálculo de un elemento primario, uno secundario y una chapa del costado.
- Plano de la cuaderna maestra. Plano de disposición de la cuaderna maestra del buque, o aquella seleccionada para su dimensionado/escantillado en este cuaderno. Deberán especificarse escantillones y cotas básicas de todos los elementos. Aquellos elementos no dimensionados se supondrán iguales a los obtenidos en el apartado anterior.

### 1.2. Presentación

El objetivo de este cuaderno es escantillar los elementos estructurales que componen el buque de manera que sea resistente frente a las condiciones de quebranto y arrufo a los que se pueda enfrentar a lo largo de su vida útil.

Para la realización de los cálculos pertinentes nos basaremos en la *Sociedad de Clasificación* correspondiente a nuestro buque: el *Bureau Veritas*, en su última edición de julio de 2018.

Se presentan a continuación las características principales de nuestro buque proyecto:

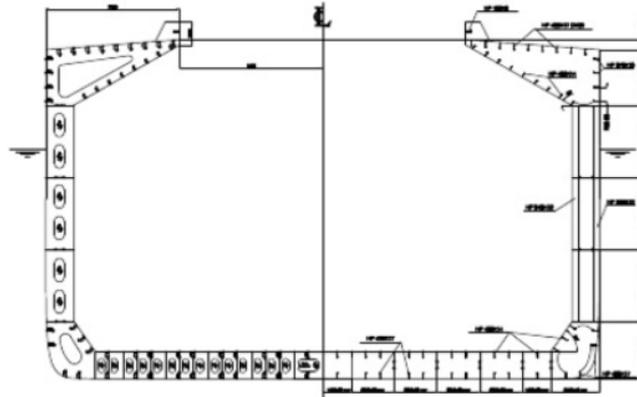
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		
<b>Eslora total</b>	176,50	m
<b>Eslora entre perpendiculares</b>	170,40	m
<b>Manga</b>	30,17	m
<b>Calado</b>	11,56	m
<b>Puntal</b>	17,14	m
<b>Peso muerto</b>	40 000,00	t
<b>Desplazamiento</b>	50 138,00	t

## 2. PARTICULARIDADES A TENER EN CUENTA

### 2.1. Tipo de estructura

La estructura de nuestro barco será longitudinal, ya que ofrece una gran resistencia longitudinal al colocar los refuerzos primarios de manera transversal. De esta manera se facilita la labor de compartimentación del interior del buque.

Se presenta a continuación un ejemplo de cuaderna maestra de un *bulkcarrier* que será la base para nuestro estudio:



### 2.2. Dimensiones de la estructura del casco

En este apartado describiremos la separación entre los diferentes tipos de refuerzos a lo largo del buque:

#### 2.2.1. Fondo y doble fondo

Como se estimó en cuadernos anteriores, la altura del doble fondo de nuestro buque será de 2 m el cual contará en su zona central de un túnel de tubería de 1 m de semimanga.

FONDO Y DOBLE FONDO		
Refuerzo	Separación	Longitud
Longitudinal fondo	825	2400
Longitudinal doble fondo	825	2400
Vagras	2500	2400
Varenga	2400	2000
Longitudinal pantoque	800	2400

#### 2.2.2. Costados

En cuadernos anteriores se estipuló la separación entre las cuadernas del buque como se muestra a continuación:

Zona buque	S (mm)
Pique popa	650
Cámara de máquinas	750

Zona de carga	800
Pique de proa	700

Por norma general, y a lo largo de todo el buque, se colocará una bulárcama cada tres cuadernas, por tanto, la separación en la zona central del buque, que será la que nos interesa por contar con la cuaderna maestra, coincidente a su vez con la zona de carga será de 2 400 mm.

COSTADO		
Refuerzo	Separación	Longitud
Cuaderna	800	17140
Bulárcama	2400	17140
Palmejar	650	2400
Longitudinal tolva superior	800	2400
Longitudinal tolva inferior	750	2400

### 2.2.3. Cubierta

CUBIERTA		
Refuerzo	Separación	Longitud
Eslora	750	2400
Bao	2400	7350

## 2.3. Tipo de material a emplear

El buque proyecto será construido con chapas y perfiles de calidad naval, concretamente con acero naval de grado A.

Se adjunta a continuación la tabla proporcionada por el *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 4, Sección 1*, donde define los distintos tipos de materiales con sus propiedades:

**Table 1 : Mechanical properties of hull steels**

Steel grades $t \leq 100$ mm	Minimum yield stress $R_{eH}$ , in N/mm <sup>2</sup>	Ultimate minimum tensile strength $R_m$ , in N/mm <sup>2</sup>
A-B-D-E	235	400 - 520
AH32-DH32 EH32-FH32	315	440 - 570
AH36-DH36 EH36-FH36 EH36CAS-FH36CAS	355	490 - 630
AH40-DH40 EH40- FH40 EH40CAS-FH40CAS	390	510 - 660
EH47 EH47CAS	460	570 - 720

Note 1: Ref.: NR216 Materials and Welding, Ch 2, Sec 1, [2]

Se presentan, por tanto, las características del acero seleccionado para nuestro buque, el acero naval tipo A:

- *Módulo de Young*:  $\varepsilon = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
- *Tensión elástica mínima*:  $R_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Además, se considerará un factor de material  $k = 1$ .

**Table 2 : Material factor k**

$R_{eH}$ , in N/mm <sup>2</sup>	k
235	1,00
315	0,78
355	0,72
390	0,68 (1)
(1) The material factor k may be taken equal to 0,66 for steels with yield stress equal to 390 N/mm <sup>2</sup> , provided that the hull structure is additionally verified for compliance with finite element analysis and spectral fatigue assessment according to NI 611.	

## 2.4. Margen de corrosión

Debido a la previsión del desgaste causado por la corrosión a lo largo de la vida útil del buque, se añade un margen al espesor de la chapa.

A continuación, se presenta el apartado del *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 4, Sección 2* donde se presenta dicha reflexión:

**Table 2 : Corrosion additions  $t_c$ , in mm, for each exposed side**

Compartment type		General (1)	Special cases
Ballast tank (2)		1,00	1,25 in upper zone (7)
Cargo oil tank and fuel oil tank (3)	Plating of horizontal surfaces	0,75	1,00 in upper zone (7)
	Plating of non-horizontal surfaces	0,50	1,00 in upper zone (7)
	Ordinary stiffeners and primary supporting members	0,75	1,00 in upper zone (7)
Independent tank of ships with service notation <b>liquefied gas carrier</b> or <b>LNG bunkering ship</b> (4)		0,00	
Independent gas fuel tanks of ships with the additional service feature <b>gasfuel</b> or <b>dualfuel</b> (5)			
Cofferdam in cargo area of ships with the service notation <b>liquefied gas carrier</b> or <b>LNG bunkering ship</b>		1,00	
Cofferdam adjacent to the gas fuel tank on ships with the additional service feature <b>dualfuel</b> or <b>gasfuel</b>			
Dry bulk cargo hold (6)	General	1,00	
	Inner bottom plating Side plating for single hull ship Inner side plating for double hull ship Sloping stool plate of hopper tanks and lower stool Transverse bulkhead plating	1,75	
Frames, ordinary stiffeners and primary supporting members		1,00	1,50 in lower zone (8)
Tanks for fresh water		0,5	
Tanks for water-based mud		1,25	
Tanks for oil-based mud		1,25	
Tanks for drilling brines		1,25	
Moonpool		1,75	
Compartment located between independent tank and inner side of ships with the additional service feature <b>asphalt carrier</b>		1,00	
Hopper well of dredging ships		2,00	
Accommodation space (9)		0,00	
Compartments other than those mentioned above (9)		0,50	
Outside sea and air			

Se determina, finalmente, estipular un margen de corrosión para todas las zonas del buque de 1 mm.

### 3. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

En este primer apartado, será necesario definir las distintas dimensiones necesarias para escantillonar el buque.

Se calcularán según lo dispuesto en la Parte B, Capítulo 1, Sección 2 del BV y partiendo de datos obtenidos en cuadernos previos.

#### 3.1. Calado de escantillonado

Se define como la distancia mediada, en metros, en la sección media del buque y coincide con el calado de verano, pero se suele tomar un valor ligeramente mayor para tener un margen ante un posible aumento de los pesos o un incremento de calado ante una avería.

Previamente, en el *Cuaderno 5*, se calcularon las condiciones de carga a las que se puede enfrentar nuestro buque y, con ello, el calado máximo al que puede navegar.

Dado que nuestro buque se considera que está sobrado de francobordo, se empleará el francobordo calculado mediante el Convenio pertinente para definir el calado máximo.

El calado de escantillonado se estimará, por tanto, como sigue:

$$T_{esc} = T_{m\acute{a}ximo} + 0,01 \text{ m} = 12,690 + 0,01 = 12,700 \text{ m}$$

$$T_{escantillonado} = 12,700 \text{ m}$$

Obtenemos las hidrostáticas del buque para este nuevo calado:

Draft Amidships m	12,700
Displacement t	55 519
Heel deg	0,0
Draft at FP m	12,700
Draft at AP m	12,700
Draft at LCF m	12,700
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	174,107
Beam max extents on WL m	30,166
Wetted Area m <sup>2</sup>	8 263,996
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	4 661,864
Prismatic coeff. (Cp)	0,815
Block coeff. (Cb)	0,812
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,996
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,888
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	87,164
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	83,030
KB m	6,567
KG m	11,560
BMt m	5,816
BML m	179,559
GMt m	0,823

GML m	174,566
KMt m	12,383
KML m	186,126
Immersion (TPc) tonne/cm	47,784
MTc tonne.m	568,760
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	797,343
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

### 3.2. Eslora de escantillonado

La eslora de escantillonado se define como la distancia, medida en metros, en el calado de verano, desde la parte de proa de la roda hasta la parte posterior del codaste o al centro del timón cuando no hay codaste. Esta distancia no deberá ser menor del máximo entre el 96% de la eslora total para el calado de escantillonado, y tampoco deberá exceder del 97% de la eslora total para el calado de escantillonado considerado.

$$Eslora\ de\ flotación\ (T_{esc} = 11,700\ m) = 174,107\ m$$

$$L_{esc} = \max\{0,96 \cdot L_{flot}; [\min\{L_{pp}; 0,97 \cdot L_{flot}\}]\} \\ = \max\{0,96 \cdot 174,107; [\min\{170,61; 0,97 \cdot 174,107\}]\} = 168,88\ m$$

$$L_{escantillonado} = 168,88\ m$$

### 3.3. Manga de escantillonado

La manga de escantillonado será la máxima del buque medida en la flotación de verano, es decir, la manga de trazado:

$$B_{escantillonado} = 30,166\ m$$

### 3.4. Puntal de escantillonado

Se estipula el puntal de escantillonado como el puntal de trazado del buque definido por el reglamento como, la distancia vertical en metros desde la LB hasta la cubierta continua más alta, medida en el centro del buque:

$$D_{escantillonado} = 17,14\ m$$

### 3.5. Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque de escantillonado vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$Cb_{esc} = \frac{\Delta(T_{esc})}{1,025 \cdot L_{esc} \cdot B_{esc} \cdot T_{esc}} = \frac{55\ 519}{1,025 \cdot 168,88 \cdot 30,166 \cdot 12,70} = 0,837$$

### 3.6. Resumen dimensiones escantillonado

DIMENSIONES ESCANTILLONADO		
Calado	12,700	m
Eslora	168,88	m
Manga	30,166	m

Bulkcarrier portacontenedores 40 000 TPM / Cuaderno 8  
Marta González García

<b>Puntal</b>	17,14	m
<b>Desplazamiento</b>	55 519	t
<b>Cb</b>	0,837	

#### 4. PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL BUQUE

Se presentan a continuación los cálculos de los parámetros de movimiento y aceleración a los que se someterá el buque.

##### 4.1. Coeficiente de navegación

El buque proyecto no presentará ninguna restricción en cuanto a su navegación, por lo que se estipulan los siguientes coeficientes de navegación como se especifica en el *BV, Parte B, Capítulo 5, Sección 1*.

Table 1 : Navigation coefficients

Navigation notation	Navigation coefficient n	Navigation coefficient n <sub>1</sub>
Unrestricted navigation	1,00	1,00
Summer zone	0,90	0,95
Tropical zone	0,80	0,90
Coastal area	0,80	0,90
Sheltered area	0,65	0,80

##### 4.2. Parámetros de la ola

Los parámetros de ola vendrán definidos en la *Parte B, Capítulo 5, Sección 2 del BV*.

$$C = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1,5} = 10,75 - \left(\frac{300 - 168,88}{100}\right)^{1,5} = 9,25$$

$$H = 8,13 - \left(\frac{250 - 0,7 \cdot L}{125}\right)^3 = 8,13 - \left(\frac{250 - 0,7 \cdot 168,88}{125}\right)^3 = 6,96$$

##### 4.3. Parámetro de ola, en m

Se estipula en la *Parte B, Capítulo 5, Sección 3 del BV* que el parámetro de ola, en metros, viene dada por la siguiente fórmula:

$$h_w = 11,44 - \left|\frac{L - 350}{110}\right|^3 = 11,44 - \left|\frac{168,88 - 350}{110}\right|^3 = 15,90 \text{ m}$$

##### 4.4. Parámetro de aceleración y movimiento

Nuevamente en la *Parte B, Capítulo 5, Sección 3 del BV* se define el parámetro de aceleración y movimiento:

$$a_B = n \left(0,76 \cdot F + 1,875 \cdot \frac{h_w}{L}\right) = 1 \cdot \left(0,76 \cdot 0,19 + 1,875 \cdot \frac{15,90}{168,88}\right) = 0,32 \text{ m/s}^2$$

Donde:

- $n$ : coeficiente de navegación.
- $F$ : número de Froude para la velocidad de servicio:

$$F = 0,164 \cdot \frac{V}{L^{0,5}} = 0,164 \cdot \frac{15}{168,88^{0,5}} = 0,19$$

## 4.5. Valor de referencia del movimiento relativo del buque

Se conoce como movimiento relativo del buque a la translación oscilatoria de la línea de flotación en el costado del buque, medido desde la flotación al calado.

Obtendremos el cálculo necesario para su valor en el *BV, Parte B, Capítulo 5, Sección 3*, donde tendremos en cuenta la cuaderna maestra.

**Table 5 : Reference value of the relative motion  $h_1$  in the upright ship condition**

Location	Reference value of the relative motion $h_1$ in the upright ship condition, in m
$x = 0$	$0,7 \left( \frac{4,35}{\sqrt{C_B}} - 3,25 \right) h_{1,M}$ if $C_B < 0,875$ $h_{1,M}$ if $C_B \geq 0,875$
$x < 0,3 L$	$h_{1,AE} - \frac{h_{1,AE} - h_{1,M} x}{0,3 L}$
$0,3 L \leq x \leq 0,7 L$	$0,42 n C (C_B + 0,7)$ without being taken greater than the minimum of $T_1$ and $D - 0,9 T$
$0,7 L < x$	$h_{1,M} + \frac{h_{1,FE} - h_{1,M}}{0,3 L} (x - 0,7)$
$x = L$	$\left( \frac{4,35}{\sqrt{C_B}} - 3,25 \right) h_{1,M}$
<b>Note 1:</b>	
C : Wave parameter defined in Ch 5, Sec 2	
$h_{1,AE}$ : Reference value $h_1$ calculated for $x = 0$	
$h_{1,M}$ : Reference value $h_1$ calculated for $x = 0,5 L$	
$h_{1,FE}$ : Reference value $h_1$ calculated for $x = L$	

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \min\{(0,42 \cdot n \cdot C \cdot (C_B + 0,7)); T; (D - 0,9 \cdot T)\} \\
 &= \min\{(0,42 \cdot 1 \cdot 9,25 \cdot (0,837 + 0,7)); 12,70; (17,14 - 0,9 \cdot 12,70)\} \\
 &= 5,71 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 4.6. Valores de referencia de las aceleraciones

Los valores máximos de referencia de las aceleraciones longitudinal, transversal y vertical para el buque adrizado vienen dados por el convenio según la *Parte B, Capítulo 5, Sección 3*.

**Table 6 : Reference values of the accelerations  $a_x$ ,  $a_y$  and  $a_z$**

Direction	Upright ship condition	Inclined ship condition
X - Longitudinal $a_{x1}$ and $a_{x2}$ in $m/s^2$	$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p g + \alpha_p (z - T_1)]^2}$	$a_{x2} = 0$
Y - Transverse $a_{y1}$ and $a_{y2}$ in $m/s^2$	$a_{y1} = 0$	$a_{y2} = \sqrt{a_{SW}^2 + [A_R g + \alpha_R (z - T_1)]^2 + \alpha_Y^2 K_X L^2}$
Z - Vertical $a_{z1}$ and $a_{z2}$ in $m/s^2$	$a_{z1} = \sqrt{a_{H1}^2 + \alpha_Z^2 K_X L^2}$	$a_{z2} = \sqrt{0,25 a_{H1}^2 + \alpha_Z^2 y^2}$
<b>Note 1:</b>		
$K_X = 1,2 \left( \frac{x}{L} \right)^2 - 1,1 \frac{x}{L} + 0,2$ without being taken less than 0,018		

### 4.6.1. Aceleración longitudinal

$$\begin{aligned}
 a_{x1} &= \sqrt{a_{SU}^2 + (A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1))^2} = \sqrt{0,5^2 + (0,1 \cdot 9,81 + 0,07 (0 - 12,70))^2} \\
 &= 3,56 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Donde:

- $a_{SU} = 0,5$ : aceleración de las olas. Valor proporcionado por el convenio.

**Table 4 : Pitch amplitude, period and acceleration**

Amplitude $A_p$ , in rad	Period $T_p$ , in s	Acceleration $\alpha_p$ , in rad/s <sup>2</sup>
$0,328a_B \left(1,32 - \frac{h_W}{L}\right) \left(\frac{0,6}{C_B}\right)^{0,75}$	$0,575 \sqrt{L}$	$A_p \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2$

- $A_p$ : amplitud de cabeceo.

$$A_p = 0,328 \cdot a_B \cdot \left(1,32 - \frac{h_W}{L}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{C_B}\right)^{0,75} = 0,328 \cdot 0,32 \cdot \left(1,32 - \frac{15,90}{168,88}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{0,837}\right)^{0,75} = 0,1 \text{ rad}$$

- $\alpha_p$ : aceleración de cabeceo.

$$\alpha_p = A_p \cdot \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2 = 0,1 \cdot \left(\frac{2\pi}{7,47}\right)^2 = 0,07 \text{ rad/s}^2$$

- $T_p$ : periodo de cabeceo.

$$T_p = 0,575 \cdot L^{0,5} = 0,575 \cdot 168,88^{0,5} = 7,47 \text{ s}$$

#### 4.6.2. Aceleración transversal

$$a_{y1} = 0 \text{ m/s}^2$$

#### 4.6.3. Aceleración vertical

$$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 \cdot K_x \cdot L^2} = \sqrt{3,14^2 + 0,07^2 \cdot 0,018 \cdot 168,88^2} = 3,53 \text{ m/s}^2$$

Donde:

- $a_H$ : aceleración de tiro.

$$a_H = a_B \cdot g = 0,24 \cdot 9,81 = 2,35 \text{ m/s}^2$$

- $K_x$ : punto de diseño, situado en el punto medio del buque. ( $K_x \geq 0,018$ )

$$K_x = 1,2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1,1 \cdot \frac{x}{L} = 1,2 \cdot \left(0,5 \cdot \frac{168,88}{168,88}\right)^2 - 1,1 \cdot 0,5 \cdot \frac{168,88}{168,88} = -0,25$$

### 4.7. Resumen parámetros

<b>PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL BUQUE</b>		
<b>Coefficiente de navegación</b>	n	1
	n1	1
<b>Parámetros de ola</b>	C	9,249
	H	6,958
<b>Parámetro de ola en m</b>	hw	15,904
<b>Froude</b>	F	0,189
<b>Parámetro acel y mov</b>	aB	0,320
<b>Movimiento buque</b>	h1	5,710
<b>Aceleración olas</b>	aSU	0,500
<b>Amplitud cabeceo</b>	Ap	0,100
<b>Periodo cabeceo</b>	Tp	7,472
<b>Aceleración cabeceo</b>	$\alpha_p$	0,071
<b>Aceleración longitudinal</b>	ax1	3,561
	z	0,000
<b>Aceleración transversal</b>	az1	3,531
<b>Aceleración tiro</b>	aH	3,143
<b>Punto diseño</b>	Kx	0,018

## 5. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO

Debido a varios tipos de cargas que actúan sobre los elementos estructurales del buque, se vuelve necesario un refuerzo de estos. Por esto, a continuación, se presentarán esas cargas siguiendo lo establecido en la *Parte B, Capítulo 5, Sección 2 del BV*.

Tendremos en cuenta una diferenciación base de las cargas:

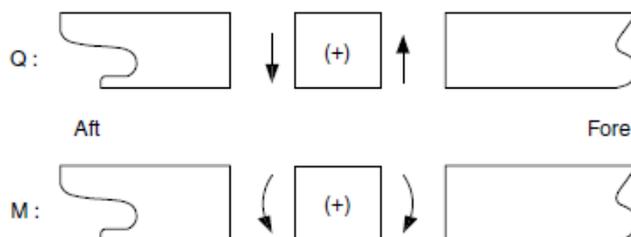
- Cargas de aguas tranquilas: son aquellas que actúan sobre el buque en situación de reposo, y están constituidas por presiones hidrostáticas externas causadas por el mar, y por las presiones y fuerzas provenientes de los pesos internos del buque.
- Cargas de ola e inerciales: se deben al efecto que producen las olas y los movimientos del buque. Están constituidas por las presiones debidas a las olas y a las aceleraciones sobre los pesos internos del buque.
- Cargas dinámicas: son aquellas que presentan una duración menor que el periodo de olas inducidas y que están constituidas por las presiones de impacto y el fenómeno “sloshing”.

### 5.1. Información previa

A lo largo del presente cuaderno se emplearán dos términos ingleses para designar las condiciones de arrufo y quebranto, los cuales son sagging y hogging, respectivamente.

El criterio de símbolos se presenta a continuación:

**Figure 1 : Sign conventions for shear forces Q and bending moments M**

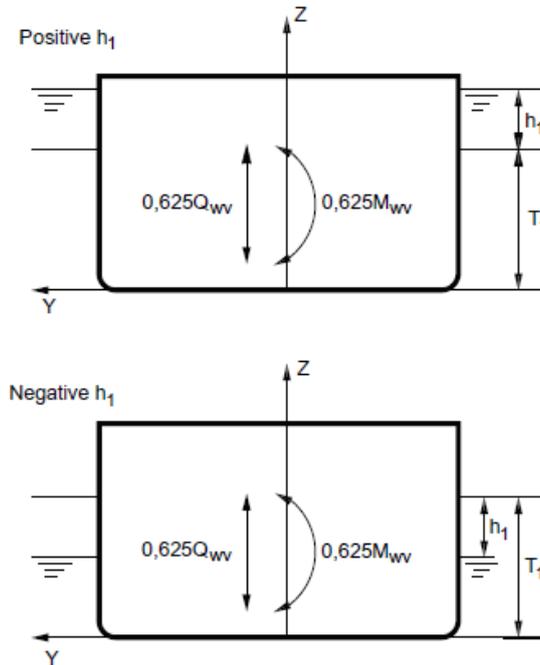


En la *Parte B, Capítulo 5, Sección 4 del BV* se establecen cuatro condiciones de carga:

- *a*: El buque se encuentra adrizado y las olas producen únicamente un momento flector y una fuerza cortante.
- *b*: El buque está adrizado, y las olas le producen un momento flector, una fuerza cortante, y movimientos relativos de cabeceo y arfada.
- *c*: El buque está escorado y las olas producen un momento flector, una fuerza cortante vertical, un momento flector horizontal, un momento torsor y movimientos relativos de deriva, guiñada y balance.
- *d*: El buque está escorado, y las olas producen en él un momento flector y una fuerza cortante vertical, un momento flector horizontal y movimientos relativos de deriva, guiñada y balance.

Para el cuaderno a desarrollar, al tratarse de una aproximación al cálculo de la estructura real del buque, se empleará la condición a, en donde la ola produce un momento flector y una fuerza cortante.

Figure 1 : Wave loads in load case "a"



## 5.2. Cargas inducidas por olas

Se presentan a continuación las cargas debidas a olas, en quebranto y arrufo para momentos flectores máximos. Se emplea el *BV* en su *Parte B, Capítulo 5, Sección 2*.

- Momento flector en condiciones de arrufo:

$$\begin{aligned} M_{WV.S} &= -110 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ &= -110 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,25 \cdot 186,88^2 \cdot 30,166 \cdot (0,837 + 0,7) 10^{-3} \\ &= -1\,345\,498,68 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Momento flector en condiciones de quebranto:

$$\begin{aligned} M_{WV.H} &= 190 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \cdot 10^{-3} \\ &= 190 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,25 \cdot 168,88^2 \cdot 30,166 \cdot 0,837 \cdot 10^{-3} = 1\,265\,708,02 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

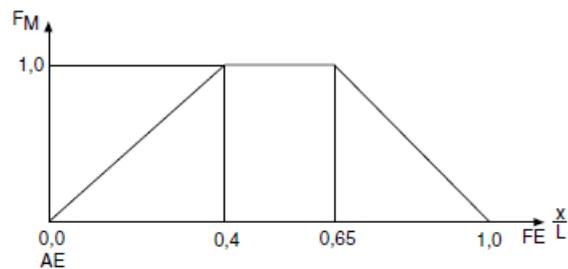
Donde:

- $F_M$ : factor de distribución del momento flector a lo largo de la eslora del buque.

**Table 1 : Distribution factor  $F_M$**

Hull transverse section location	Distribution factor $F_M$
$0 \leq x < 0,4 L$	$2,5 \frac{x}{L}$
$0,4 L \leq x \leq 0,65 L$	1
$0,65 L < x \leq L$	$2,86 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$

**Figure 3 : Distribution factor  $F_M$**



Los máximos momentos flectores por olas se localizan en la zona central del buque, que será la zona a estudiar por ser donde se encuentra la cuaderna maestra. Por tanto, tomaremos  $F_M = 1$ .

### 5.3. Cargas inducidas en aguas tranquilas

Se definen las cargas inducidas en aguas tranquilas nuevamente en el BV, Parte B, Capítulo 5, Sección 2.

- Momento flector en aguas tranquilas en condiciones de arrufo

$$\begin{aligned}
 M_{SWM.S} &= 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} + M_{WV,S} \\
 &= 175 \cdot 1 \cdot 9,25 \cdot 168,88^2 \cdot 30,166 \cdot (0,837 + 0,7) \cdot 10^{-3} \\
 &\quad + (-1\,345\,498,68) = 795\,067,40 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Momento flector en aguas tranquilas en condiciones de quebranto

$$\begin{aligned}
 M_{SWM.H} &= 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} - M_{WV,H} \\
 &= 175 \cdot 1 \cdot 9,25 \cdot 168,88^2 \cdot 30,166 \cdot (0,837 + 0,7) \cdot 10^{-3} - 1\,268\,708,02 \\
 &= 874\,858,05 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## 6. MÓDULO E INERCIA MÍNIMA DE LA SECCIÓN MAESTRA

En el presente apartado obtendremos los valores de inercia y módulo mínimo de la sección maestra necesarios para apartados posteriores.

Para tal fin seguiremos el *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 6, Sección 2*, el cual nos dice que valor mínimo del módulo de la sección maestra será el máximo entre los dos que siguen:

$$Z_{Rmin} = n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot k \cdot 10^{-6}$$

$$= 1 \cdot 9,25 \cdot 168,88^2 \cdot 30,166 \cdot (0,837 + 0,7) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 12,23 \text{ m}^3$$

$$Z_{Rmin} = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{175} \cdot 10^{-3}$$

MOMENTOS FLECTORES					
OLAS			AGUAS TRANQUILAS		
<b>ARRUFO</b>					
<b>M<sub>wv,s</sub></b>	-1 345 498,68	kN/m	<b>M<sub>swm,s</sub></b>	795 067,40	kN/m
<b>QUEBRANTO</b>					
<b>M<sub>wv,h</sub></b>	1 265 708,02	kN/m	<b>M<sub>swm,h</sub></b>	874 858,05	kN/m

$$Z_{Rmin \text{ ARRUFO}} = \frac{-1\ 345\ 498,68 + 795\ 067,40}{175} \cdot 10^{-3} = 12,23 \text{ m}^3$$

$$Z_{Rmin \text{ QUEBRANTO}} = \frac{1\ 268\ 708,02 + 874\ 858,05}{175} \cdot 10^{-3} = 12,23 \text{ m}^3$$

Obtenemos, por tanto, el valor del módulo mínimo de la sección maestra:

$$Z_{Rmin \text{ SECCIÓN MAESTRA}} = 12,23 \text{ m}^3$$

En cuanto a la inercia mínima de la sección transversal, ésta no debe ser menor que el valor obtenido a continuación:

$$I_{YRMIN} = 3 \cdot Z_{min} \cdot L \cdot 10^{-2} = 3 \cdot 12,23 \cdot 168,88 \cdot 10^{-2} = 61,97 \text{ m}^4$$

Como una aproximación, podemos suponer que el eje neutro se encuentra en la mitad del puntal, medido desde la línea base, por tanto:

$$N = \frac{D}{2} = \frac{17,14}{2} = 8,57 \text{ m}$$

Así pues, obtenemos finalmente el valor del momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro como sigue:

$$I_y = 2 \cdot N \cdot Z_{min} = 2 \cdot 8,57 \cdot 12,23 = 209,65 \text{ m}^4$$

## 7. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE DISEÑO

A continuación, se muestra una presentación detallada de las diversas presiones a tener en cuenta a la hora de calcular los escantillones más adelante.

### 7.1. Presiones externas inducidas por aguas tranquilas

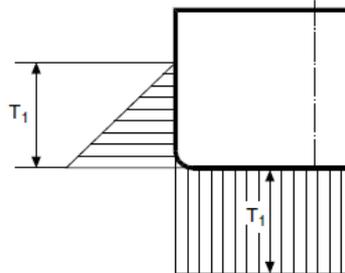
Definiremos a continuación las presiones inducidas por aguas tranquilas dispuestas en el *BV, Parte B, Capítulo 5, Sección 5*.

#### 7.1.1. Presiones en los costados y el fondo del buque

Table 1 : Still water pressure

Location	Still water pressure $p_s$ in $kN/m^2$
Points at and below the waterline ( $z \leq T_1$ )	$\rho g (T_1 - z)$
Points above the waterline ( $z > T_1$ )	0

Figure 1 : Still water pressure



- Puntos que se encuentran por debajo de la línea de flotación.

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z)$$

- Puntos que se encuentran por encima de la línea de flotación.

$$P_s = 0 \text{ kN/m}^2$$

### 7.2. Presiones externas en cubiertas expuestas

La presión en cubiertas externas no debe ser inferior a la calcula de la siguiente manera:

$$P_{s.deck} = 10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 10 \cdot 1 \cdot 1 = 10 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $\varphi_1$ : Coeficiente presentado en la tabla que sigue y correspondiente a la cubierta de francobordo.

**Table 2 : Coefficient for pressure on exposed decks**

Exposed deck location	$\varphi_1$
Freeboard deck and below	1,00
Top of lowest tier	0,75
Top of second tier	0,56
Top of third tier	0,42
Top of fourth tier	0,32
Top of fifth tier	0,25
Top of sixth tier	0,20
Top of seventh tier	0,15
Top of eighth tier and above	0,10

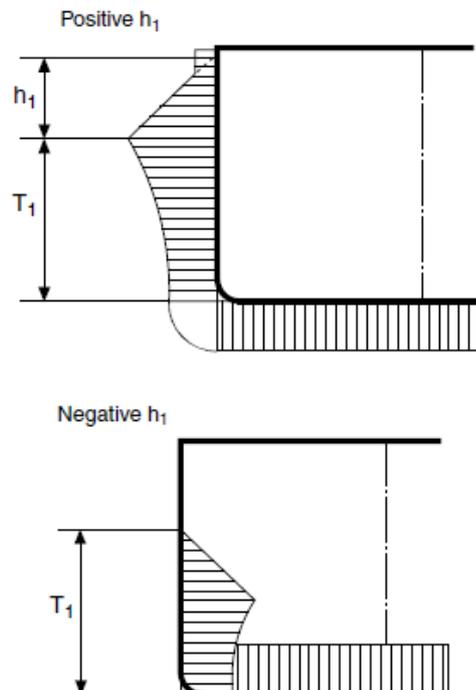
- $\varphi_2$ : Coeficiente definido por tener una eslora superior a 120 m.

### 7.3. Presiones externas inducidas por olas

Para el presente apartado se tendrá en cuenta el BV en su Parte B, Capítulo 5, Sección 5.

#### 7.3.1. Presiones en los costados y el fondo del buque

**Figure 2 : Wave pressure in load case "a"**



**Table 4 : Wave pressure on sides and bottom in upright ship conditions (load cases "a" and "b")**

Location	Wave pressure $p_w$ , in $kN/m^2$	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ( $z \leq T_1$ )	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ( $z > T_1$ )	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \varphi_1 \varphi_2 L$	0,0

**Note 1:**  
 $h = C_{F1} h_1$   
 $C_{F1}$  : Combination factor, to be taken equal to:  
 •  $C_{F1} = 1,0$  for load case "a"  
 •  $C_{F1} = 0,5$  for load case "b".

- Por debajo de la línea de flotación

$$P_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T - z)}{L}}$$

- Por encima de la línea de flotación

$$P_w = \rho \cdot g \cdot (T + h - z)$$

Donde:

$$h = C_{F1} \cdot h_1 = 1 \cdot 5,71 = 5,71$$

- $C_{F1}$ : Factor definido en el reglamento.

### 7.3.2. Presiones inducidas por olas en cubiertas expuestas

**Table 3 : Wave pressure on exposed decks in upright ship conditions (load cases "a" and "b")**

Location	Wave pressure $p_w$ , in $kN/m^2$	
	Crest	Through
$0 \leq x \leq 0,5 L$	$17,5 n \varphi_1 \varphi_2$	0
$0,5 L < x < 0,75 L$	$\left\{ 17,5 + \left[ \frac{19,6 \sqrt{H_f} - 17,5}{0,25} \right] \left( \frac{x}{L} - 0,5 \right) \right\} n \varphi_1 \varphi_2$	0
$0,75 L \leq x \leq L$	$19,6 n \varphi_1 \varphi_2 \sqrt{H_f}$	0

**Note 1:**  
 $H = C_{F1} \left[ 2,66 \left( \frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 + 0,14 \right] \sqrt{\frac{VL}{C_n}} - (z - T_1)$  without being taken less than 0,8  
 $\varphi_1$  : Coefficient defined in Tab 2  
 $\varphi_2$  : Coefficient taken equal to:  
 •  $\varphi_2 = 1$  if  $L \geq 120$  m  
 •  $\varphi_2 = L/120$  if  $L < 120$  m  
 $H_f$  : Value of H calculated at  $x = 0,75 L$   
 $C_{F1}$  : Combination factor, to be taken equal to:  
 •  $C_{F1} = 1,0$  for load case "a"  
 •  $C_{F1} = 0,5$  for load case "b"  
 $V$  : Maximum ahead service speed, in knots, to be taken not less than 13 knots.

Dado que el punto de diseño es la cuaderna maestra, situada a  $0,5 \cdot L$ , la presión por olas en la cubierta expuesta se define como:

$$P_w = 17,5 \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 17,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 17,5 \text{ kN/m}^2$$

## 7.4. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

### 7.4.1. Presiones internas inducidas por cargas sólidas a granel

El siguiente apartado se resolverá gracias al *BV en su Parte B, Capítulo 5, Sección 6, Punto 3* referente a las cargas sólidas a granel, y por tanto a la carga a transportar en las bodegas del buque.

Cabe señalar, que como se indica en dicho apartado del BV, las chapas inclinadas de la tolva superior no soportarán presión alguna, y por tanto  $P_s = 0 \text{ kN/m}^2$ .

**Table 6 : Dry bulk cargoes - Still water and inertial pressures**

Ship condition	Load case	Still water pressure $p_s$ and inertial pressure $p_w$ , in $\text{kN/m}^2$
Still water		$p_s = \rho_B g (z_B - z) \left\{ (\sin \alpha)^2 \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 + (\cos \alpha)^2 \right\}$
Upright	"a"	No inertial pressure
	"b"	$p_w = \rho_B a_{z1} (z_B - z) \left\{ (\sin \alpha)^2 \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 + (\cos \alpha)^2 \right\}$
Inclined	"c"	The inertial pressure transmitted to the hull structures in inclined condition may generally be disregarded. Specific cases in which this simplification is not deemed permissible by the Society are considered individually.
	"d"	
<b>Note 1:</b>		
$z_B$ : Z co-ordinate, in m, of the rated upper surface of the bulk cargo (horizontal ideal plane of the volume filled by the cargo); see [3.1.2]		
$\alpha$ : Angle, in degrees, between the horizontal plane and the surface of the hull structure to which the calculation point belongs		
$\varphi$ : Angle of repose, in degrees, of the bulk cargo (considered drained and removed); in the absence of more precise evaluation, the following values may be taken:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\varphi = 30^\circ</math> in general</li> <li>• <math>\varphi = 35^\circ</math> for iron ore</li> <li>• <math>\varphi = 25^\circ</math> for cement.</li> </ul>		

$$P_s = \rho_B \cdot g \cdot (z_B - z) \cdot \left\{ (\sin \alpha)^2 \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 + (\cos \alpha)^2 \right\}$$

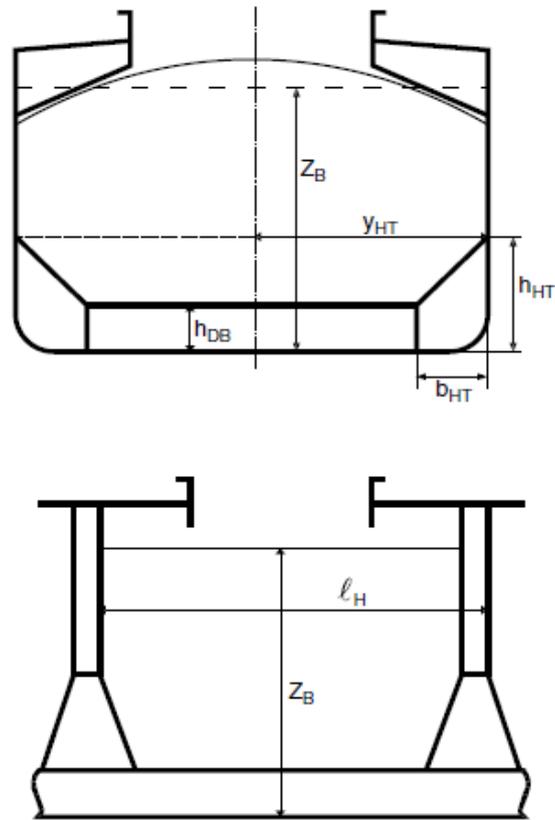
Donde:

$$z_B = \frac{\frac{M_C}{\rho_B \cdot \ell_H} + \frac{V_{LS}}{\ell_H} + (h_{HT} - h_{DB}) \cdot b_{HT}}{2 \cdot Y_{HT}} + h_{DB}$$

Donde:

- $M_C$ : masa de la carga, en toneladas, de la bodega considerada.
- $\ell_H$ : eslora, en metros, de la bodega.
- $V_{LS}$ : volumen, en  $m^3$ , de la tolva inferior del mamparo transversal.
- $h_{HT}$ : Altura, en metros, de la tolva inferior medida desde la línea base.
- $h_{DB}$ : Altura, en metros, del doble fondo.
- $b_{HT}$ : Manga, en metros, de la tolva inferior.
- $Y_{HT}$ : Semimanga, en metros, de la bodega.

Figure 8 : Rated upper surface of the bulk cargo



Las presiones inerciales no se tendrán en cuenta como se define en la tabla superior del BV.

#### 7.4.2. Presiones internas inducidas por líquidos

Aplicaremos el apartado relativo a las presiones inducidas por líquidos mencionado en la *Parte B, Capítulo 5, Sección 6 del BV* para las chapas colindantes con los tanques de lastre del buque, esto es, las tolvas superiores e inferiores así como el doble fondo.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z)$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV}$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1}$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.

- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP})$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

La presión interna de los tanques debe ser la suma de la presión del líquido en reposo y la presión inercial, sin embargo, tal y como se define en el BV, no se tendrán en cuenta dichas presiones inerciales.

**Table 1 : Watertight bulkheads of liquid compartments - Inertial pressure**

Ship condition	Load case	Inertial pressure $p_W$ , in kN/m <sup>2</sup>
Upright	"a"	No inertial pressure
	"b"	$\rho_l [0, 5 a_{x1} \ell_B + a_{z1} (z_{TOP} - z)]$
Inclined (negative roll angle)	"c"	$\rho_l [a_{1y}(y - y_H) + a_{1z}(z - z_H) + g(z - z_{TOP})]$
	"d"	
<b>Note 1:</b>		
$\ell_B$ : Longitudinal distance, in m, between the transverse tank boundaries, without taking into account small recesses in the lower part of the tank (see Fig 1)		
$a_{1y}$ , $a_{1z}$ : Y and Z components, in m/s <sup>2</sup> , of the total acceleration vector defined in [1.1.3] for load case "c" and load case "d"		
$y_H$ , $z_H$ : Y and Z co-ordinates, in m, of the highest point of the tank in the direction of the total acceleration vector, defined in [1.1.4] for load case "c" and load case "d".		

## 8. CÁLCULO DE LAS PRESIONES EN LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

En el presente apartado se calcularán las presiones que se ejercen las diferentes partes del buque. En el apartado anterior ya se hizo una introducción a estos parámetros.

Los elementos de la estructura sobre los que se realizará el estudio son las siguientes:

- Chapa de fondo.
- Chapa de costado.
- Chapa de doble fondo.
- Chapa de pantoque.
- Chapa tolva superior.
- Chapa de cubierta principal.

Se vuelve de vital importancia realizar un estudio detallado de las presiones ya que será la presión mayor que afecte a cada uno de los elementos la que condicionará su escantillado.

### 8.1. Chapa de fondo

#### 8.1.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (12,7 - 0) = 127,70 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.1.2. Presión externa inducida por olas

Como se definió anteriormente, para zonas por debajo de la línea de flotación:

$$P_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 5,71 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (12,7 - 0)}{168,88}} \\ = 35,79 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.1.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

Dado que el espacio del doble fondo hará la función de tanque de aguas de lastre, emplearemos las ecuaciones anteriormente expuestas para presiones internas inducidas por líquidos.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (11,45 - 0) = 115,13 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (5 - 0) + 100 \cdot 0,7 = 120,28 \text{ kN/m}^2$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,8 \cdot 26,4}{420 - 26,4} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.
- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP}) = 5 + 0,5 \cdot (17,9 - 5) = 11,45 \text{ m}$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

Se tomará, por tanto, el mayor valor calculado como presión inducida del tanque en aguas tranquilas:

$$P_s = 120,28 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.1.4. Resumen presiones chapa de fondo

PRESIONES CHAPA DE FONDO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	127,70	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	35,79	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	120,28	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

## 8.2. Chapa de costado

Se tendrá en cuenta para este apartado que la coordenada z corresponde a la parte superior del doble fondo, por tanto,  $z = 2 \text{ m}$ .

### 8.2.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (12,7 - 2) = 107,59 \text{ kN/m}^2$$

### 8.2.2. Presión externa inducida por olas

Como se definió anteriormente, para zonas por debajo de la línea de flotación:

$$P_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 5,71 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (12,7 - 2)}{168,88}}$$

$$= 38,56 \text{ kN/m}^2$$

### 8.2.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

Dado que el buque no cuenta con doble casco, la bodega de carga estará en contacto directo con la chapa de costado y, por tanto, ésta tendrá que soportar las presiones soportadas por la propia carga.

$$\begin{aligned}
 P_s &= \rho_B \cdot g \cdot (z_B - z) \cdot \left\{ (\sin \alpha)^2 \cdot \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 + (\cos \alpha)^2 \right\} \\
 &= 3,125 \cdot 9,81 \cdot (5,88 - 2) \cdot \left\{ (\sin 90^\circ)^2 \cdot \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{45}{2} \right) \right]^2 + (\cos 90^\circ)^2 \right\} \\
 &= 53,44 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 z_B &= \frac{\frac{M_C}{\rho_B \cdot \ell_H} + \frac{V_{LS}}{\ell_H} + (h_{HT} - h_{DB}) \cdot b_{HT}}{2 \cdot Y_{HT}} + h_{DB} = \frac{8\,750,62}{3,125 \cdot 26,4} + \frac{45}{26,4} + (5 - 2) \cdot 3,06 \\
 &= 5,88 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Donde:

- $M_C$ : masa de la carga, en toneladas, de la bodega considerada.
- $\ell_H$ : eslora, en metros, de la bodega.
- $V_{LS}$ : volumen, en  $m^3$ , de la tolva inferior del mamparo transversal.
- $h_{HT}$ : Altura, en metros, de la tolva inferior medida desde la línea base.
- $h_{DB}$ : Altura, en metros, del doble fondo.
- $b_{HT}$ : Manga, en metros, de la tolva inferior.
- $Y_{HT}$ : Semimanga, en metros, de la bodega.

#### 8.2.4. Resumen presiones chapa de costado

PRESIONES CHAPA DE COSTADO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	107,59	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	38,56	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	53,44	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

### 8.3. Chapa de doble fondo

#### 8.3.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

La presión externa del mar que actúa sobre el doble fondo es nula.

$$P_s = 0 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.3.2. Presión externa inducida por olas

La presión que ejercen las olas sobre el doble fondo es, nuevamente, nula.

$$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.3.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

Para la chapa de doble fondo, los tanques que generan presión sobre él son aquellos con los que está en contacto:

- Tanque de lastre del doble fondo.

- Bodega de carga.

Calcularemos entonces, las presiones ejercidas por ambos espacios y se seleccionará la máxima como la más desfavorable para la chapa de doble fondo.

### 8.3.3.1. Tanque de lastre de doble fondo

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (11,45 - 2) = 95,02 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (5 - 2) + 100 \cdot 0,7 = 100,16 \text{ kN/m}^2$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,8 \cdot 26,4}{420 - 26,4} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.
- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP}) = 5 + 0,5 \cdot (17,9 - 5) = 11,45 \text{ m}$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

Se tomará, por tanto, el mayor valor calculado como presión inducida del tanque en aguas tranquilas:

$$P_s = 100,16 \text{ kN/m}^2$$

### 8.3.3.2. Bodega de carga

$$\begin{aligned} P_s &= \rho_B \cdot g \cdot (z_B - z) \cdot \left\{ (\sin \alpha)^2 \cdot \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^2 + (\cos \alpha)^2 \right\} \\ &= 3,125 \cdot 9,81 \cdot (5,88 - 2) \cdot \left\{ (\sin 90^\circ)^2 \cdot \left[ \tan \left( 45^\circ - \frac{45}{2} \right) \right]^2 + (\cos 90^\circ)^2 \right\} \\ &= 53,44 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} z_B &= \frac{\frac{M_C}{\rho_B \cdot \ell_H} + \frac{V_{LS}}{\ell_H} + (h_{HT} - h_{DB}) \cdot b_{HT}}{2 \cdot Y_{HT}} + h_{DB} = \frac{8\,750,62}{3,125 \cdot 26,4} + \frac{45}{26,4} + (5 - 2) \cdot 3,06 \\ &= 5,88 \text{ m} \end{aligned}$$

Donde:

- $M_C$ : masa de la carga, en toneladas, de la bodega considerada.
- $\ell_H$ : eslora, en metros, de la bodega.
- $V_{LS}$ : volumen, en  $m^3$ , de la tolva inferior del mamparo transversal.
- $h_{HT}$ : Altura, en metros, de la tolva inferior medida desde la línea base.
- $h_{DB}$ : Altura, en metros, del doble fondo.
- $b_{HT}$ : Manga, en metros, de la tolva inferior.
- $Y_{HT}$ : Semimanga, en metros, de la bodega.

### 8.3.4. Resumen presiones chapa de doble fondo

PRESIONES CHAPA DE DOBLE FONDO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	100,16	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

## 8.4. Chapa del pantoque

Se tendrá en cuenta para este apartado que la coordenada  $z$  corresponde al fondo del buque, por tanto,  $z = 0$  m.

### 8.4.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (12,7 - 0) = 127,70 \text{ kN/m}^2$$

### 8.4.2. Presión externa inducida por olas

Como se definió anteriormente, para zonas por debajo de la línea de flotación:

$$P_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 5,71 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (12,7 - 0)}{168,88}}$$

$$= 35,79 \text{ kN/m}^2$$

### 8.4.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

Debido a la particularidad de nuestro buque, el tanque que inducirá presión interna sobre el pantoque será el tanque de lastre del doble fondo.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (11,45 - 0) = 115,13 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (5 - 0) + 100 \cdot 0,7 = 120,28 \text{ kN/m}^2$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,8 \cdot 26,4}{420 - 26,4} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.
- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP}) = 5 + 0,5 \cdot (17,9 - 5) = 11,45 \text{ m}$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

Se tomará, por tanto, el mayor valor calculado como presión inducida del tanque en aguas tranquilas:

$$P_s = 120,28 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.4.4. Resumen presiones chapa de pantoque

PRESIONES CHAPA DE PANTOQUE			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	127,70	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	35,79	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	120,28	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

### 8.5. Chapa tolva superior

#### 8.5.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

La presión externa del mar que actúa sobre la tolva superior corresponde con la presión externa del mar actuante por encima de la línea de flotación, y, por tanto, es nula.

$$P_s = 0 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.5.2. Presión externa inducida por olas

La presión que ejercen las olas sobre la tolva superior corresponde con la presión externa que inciden las olas por encima de la línea de flotación.

$$P_w = \rho \cdot g \cdot (T + h - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (12,7 + 5,71 - 12,8) = 56,41 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

$$h = C_{F1} \cdot h_1 = 1 \cdot 5,71 = 5,71$$

- $C_{F1}$ : Factor definido en el reglamento.

#### 8.5.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

Como veíamos anteriormente, el propio reglamento cita que las chapas de la tolva superior soportan presiones internas inducidas por la carga sólida a granel nulas,

por tanto, únicamente tendremos en cuenta que el espacio contenido entre la chapa de la tolva superior, el costado y la cubierta se emplea como tanque de lastre.

Tendremos en cuenta que para el cálculo se tomará como coordenada  $Z$  la parte más baja de la tolva superior.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,52 - 12,8) = 47,46 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,14 - 12,8) + 100 \cdot 0,7 = 113,64 \text{ kN/m}^2$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,8 \cdot 26,4}{420 - 26,4} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.
- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP}) = 17,14 + 0,5 \cdot (17,9 - 17,14) = 17,52 \text{ m}$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

Se tomará, por tanto, el mayor valor calculado como presión inducida del tanque en aguas tranquilas:

$$P_s = 113,64 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.5.4. Resumen presiones chapa de tolva superior

PRESIONES CHAPA DE TOLVA SUPERIOR			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	56,41	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	113,64	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

## 8.6. Chapa cubierta

Indicamos, nuevamente, que las fórmulas empleadas en este apartado fueron ya explicadas con anterioridad.

### 8.6.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas

La presión en cubiertas externas no debe ser inferior a la calcula de la siguiente manera:

$$P_{s.deck} = 10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 10 \cdot 1 \cdot 1 = 10 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $\varphi_1$ : Coeficiente correspondiente a la cubierta de francobordo.
- $\varphi_2$ : Coeficiente definido por tener una eslora superior a 120 m.

### 8.6.2. Presión externa inducida por olas

Dado que el punto de diseño es la cuaderna maestra, situada a  $0,5 \cdot L$ , la presión por olas en la cubierta expuesta se define como:

$$P_w = 17,5 \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 17,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 17,5 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $n$ : coeficiente correspondiente a la navegación sin restricción.
- $\varphi_1$ : coeficiente correspondiente a la cubierta de francobordo.
- $\varphi_2$ : coeficiente definido por tener una eslora superior a 120 m.

### 8.6.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas

En el caso de la chapa de la cubierta principal, serán los tanques de agua de lastre de las tolvas superiores los que ejercerán la presión interna sobre la chapa.

Consideramos la coordenada  $Z$  como el puntal de diseño  $Z = 17,14 \text{ m}$ .

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos de las siguientes fórmulas:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_L - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,52 - 17,14) = 3,82 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - Z) + 100 \cdot P_{PV} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,14 - 17,14) + 100 \cdot 0,7 \\ = 70 \text{ kN/m}^2$$

Y en ningún caso podrá ser menor a:

$$P_s = \rho_L \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,8 \cdot 26,4}{420 - 26,4} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

- $L_1$ : eslora del mamparo el cual no debe ser superior a 200 m.
- $\rho_L$ : densidad del líquido transportado.
- $Z_{TOP}$ : coordenada z del punto más alto del tanque.
- $Z_L$ : coordenada z del punto más alto del líquido.

$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AB} - Z_{TOP}) = 17,14 + 0,5 \cdot (17,9 - 17,14) = 17,52 \text{ m}$$

- $Z_{AB}$ : coordenada z de la parte superior del tubo de aire. Se tomará a una distancia de 760 mm desde la cubierta principal.
- $P_{PV}$ : presión de ajuste de las válvulas de seguridad.

Se tomará, por tanto, el mayor valor calculado como presión inducida del tanque en aguas tranquilas:

$$P_s = 70 \text{ kN/m}^2$$

#### 8.6.1. Resumen presiones chapa de cubierta expuesta

PRESIONES CHAPA DE CUBIERTA			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	10	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	17,5	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	70	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>

### 8.7. Resumen presiones

PRESIONES CHAPA DE FONDO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	127,70	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	35,79	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	120,28	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
PRESIONES CHAPA DE COSTADO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	107,59	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	38,56	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	53,44	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
PRESIONES CHAPA DE DOBLE FONDO			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	100,16	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
PRESIONES CHAPA DE PANTOQUE			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	127,70	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	35,79	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	120,28	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
PRESIONES CHAPA DE TOLVA SUPERIOR			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	0	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	56,41	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	113,64	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
PRESIONES CHAPA DE CUBIERTA			
Presión externa inducida por aguas tranquilas	Ps	10	kN/m <sup>2</sup>
Presión externa inducida por olas	Pw	17,5	kN/m <sup>2</sup>
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	Ps	70	kN/m <sup>2</sup>

<b>Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales</b>	Pw	0	kN/m <sup>2</sup>
---	----	---	-------------------

## 9. ESCANTILLONADO DE LAS CHAPAS

### 9.1. Metodología a seguir

El presente apartado se registrá por el *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 7, Sección 1.*

En primera instancia realizaremos el cálculo para obtener el espesor mínimo de cada uno de los elementos para lo cual emplearemos las fórmulas expuestas en la tabla mostrada.

**Table 2 : Minimum net thickness of plating (in mm)**

Plating	Minimum net thickness
Keel	$3,8 + 0,040 L k^{1/2} + 4,5 s$
Bottom	
• longitudinal framing	$1,9 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
• transverse framing	$2,8 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner bottom	
• outside the engine room (1)	$1,9 + 0,024 L k^{1/2} + 4,5 s$
• engine room	$3,0 + 0,024 L k^{1/2} + 4,5 s$
Side	
• below freeboard deck (1)	$2,1 + 0,031 L k^{1/2} + 4,5 s$
• between freeboard deck and strength deck	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner side	
• $L < 120$ m	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$
Weather strength deck and trunk deck, if any (2)	
• area within 0,4 L amidships	
- longitudinal framing	$1,6 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
- transverse framing	$1,6 + 0,040 L k^{1/2} + 4,5 s$
• area outside 0,4 L amidships (3)	
• between hatchways	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• at fore and aft part	$2,1 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Cargo deck	
• general	$8 s k^{1/2}$
• wheeled load only	4,5
Accommodation deck	
• $L < 120$ m	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$2,1 + 2,20 k^{1/2} + s$
Platform In engine room	
• $L < 120$ m	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$
Transv. watertight bulkhead (4)	
• $L < 120$ m	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$2,1 + 2,20 k^{1/2} + s$
Longitud. watertight bulkhead (4)	
• $L < 120$ m	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$
Tank and wash bulkheads (4)	
• $L < 120$ m	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
• $L \geq 120$ m	$3,6 + 2,20 k^{1/2} + s$

A continuación, procederemos a obtener el valor del espesor de la chapa en función del tipo de estructura, longitudinal en el caso de nuestro buque.

Emplearemos las fórmulas que se detallan en este apartado de una forma más directa en cada uno de los elementos más adelante.

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

Donde:

- $C_a$ : ratio de aspecto de una placa plana elemental. ( $C_a \leq 1$ ).

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l}$$

Donde:

- $l$ : separación entre refuerzos.
- $C_r$ : ratio de curvatura de una placa plana elemental. ( $r \approx \infty$ ).  

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$
- $P_s$  y  $P_w$ : presiones en el fondo del buque en aguas tranquilas y en olas, respectivamente. Calculadas en el apartado anterior. Consideramos siempre la situación más desfavorable.
- $R_y$ : tensión elástica mínima.
- $\lambda_L$ : factor para planchas de fondo, doble fondo y cubierta.

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_y}\right)^2 - 0,95 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}\right)^2} - 0,225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}$$

Donde:

- $\gamma_m = 1,02$ : factor de seguridad del material. “Table 1: Plating – Partial safety factors”.
- $\tau_1 = \gamma_{S1} \cdot \tau_{S1} + 0,625 \cdot C_{FV} \cdot \gamma_{W1} \cdot \tau_{W1}$ 
  - $\gamma_{S1} = 1$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga en aguas tranquilas. “Table 1: Plating – Partial safety factors”.
  - $\tau_{S1}$ : esfuerzo cortante. “Table 5: Hull girder shear stresses”.
  - $C_{FV} = 1$ : factores. “Table 4: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
  - $\gamma_{W1} = 1,15$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga con olas. “Table 1: Plating – Partial safety factors”.
  - $\tau_{W1}$ : esfuerzo cortante. “Table 5: Hull girder shear stresses”.
- $\sigma_{X1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$ 
  - $\sigma_{S1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses”.
  - $C_{FT} = 1$ : factor de reducción para operaciones normales.
  - $\sigma_{WV1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses”.
  - $C_{FH} = 0$ : factores. “Table 4: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
  - $\sigma_{WH1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses”.
  - $C_{F\Omega} = 0$ : factores. “Table 4: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
  - $\sigma_{\Omega}$ : estrés por deformación.

**Table 1 : Plating - Partial safety factors**

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Strength check of plating subjected to lateral pressure				Buckling check
		General	Sloshing pressure	Flooding pressure (1)	Testing check	
		see [3.2], [3.3.1], [3.4.1], [3.5.1] and [4]		see [3.3.2], [3.4.2] and [3.5.2]	see [3.3.3], [3.4.3] [3.5.3]	
Still water hull girder loads	$\gamma_{S1}$	1,00	0	1,00	N.A.	1,00
Wave hull girder loads	$\gamma_{W1}$	1,15	0	1,15	N.A.	1,15
Still water pressure	$\gamma_{S2}$	1,00	1,00	1,00	1,00	N.A.
Wave pressure	$\gamma_{W2}$	1,20	1,05	1,20	N.A.	N.A.
Material	$\gamma_m$	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Resistance	$\gamma_R$	1,20	1,10	1,05 (2)	1,05	1,10

(1) Applies only to plating to be checked in flooding conditions  
(2) For plating of the collision bulkhead,  $\gamma_R = 1,25$   
Note 1: N.A. = not applicable

**Table 4 : Combination factors  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$  and  $C_{F\Omega}$**

Load case	$C_{FV}$	$C_{FH}$	$C_{F\Omega}$
"a"	1,0	0	0
"b"	1,0	0	0
"c"	0,4	1,0	1,0
"d"	0,4	1,0	0
flooding	0,6	0	0

**Table 5 : Hull girder shear stresses**

Structural element	$\tau_{S1}, \tau_{W1}$ in N/mm <sup>2</sup>
Bottom, inner bottom and decks (excluding possible longitudinal sloping plates)	0
Bilge, side, inner side and longitudinal bulkheads (including possible longitudinal sloping plates):	
• $0 \leq z \leq 0,25 D$	$\tau_0 \left( 0,5 + 2 \frac{z}{D} \right)$
• $0,25 D < z \leq 0,75 D$	$\tau_0$
• $0,75 D < z \leq D$	$\tau_0 \left( 2,5 - 2 \frac{z}{D} \right)$
Note 1: $\tau_0 = \frac{47}{k} \left\{ 1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right\} \text{ N/mm}^2$	

Tendremos que tener en cuenta que para los elementos estructurales que no sean el fondo y el doble fondo, las tensiones tangenciales primarias del buque viga provocadas por olas y por aguas tranquilas, como son  $\tau_{S1}$  y  $\tau_{W1}$ , respectivamente, tendremos que seguir lo dispuesto en la tabla superior donde aparece la nueva tensión  $\tau_0$ .

**Table 3 : Hull girder normal stresses**

Condition	$\sigma_{S1}$ , in N/mm <sup>2</sup> (1)	$\sigma_{WV1}$ , in N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{WH1}$ , in N/mm <sup>2</sup>
$\frac{ \gamma_{S1} M_{SW,S} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} F_D M_{WV,S} }{\gamma_{S1} M_{SW,H} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} M_{WV,H}} \geq 1$	$\left  \frac{M_{SW,S}}{I_y} (z - N) \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 F_D M_{WV,S}}{I_y} (z - N) \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 M_{WH}}{I_z} y \right  10^{-3}$
$\frac{ \gamma_{S1} M_{SW,S} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} F_D M_{WV,S} }{\gamma_{S1} M_{SW,H} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} M_{WV,H}} < 1$	$\left  \frac{M_{SW,H}}{I_y} (z - N) \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 M_{WV,H}}{I_y} (z - N) \right  10^{-3}$	
(1) When the ship in still water is always in hogging condition, $M_{SW,S}$ is to be taken equal to 0.			
Note 1: $F_D$ : Coefficient defined in Ch 5, Sec 2, [4].			

Los términos presentes en las ecuaciones de “Table 3: Hull girder normal stresses” se calculan de la manera que sigue:

En primer lugar, para saber qué fórmulas tenemos que emplear, calcularemos lo siguiente:

$$\frac{|\gamma_{S1} \cdot M_{SW,S} + 0,625 \cdot \gamma_{W1} \cdot C_{FV} \cdot F_D \cdot M_{WV,S}|}{\gamma_{S1} \cdot M_{SW,H} + 0,625 \cdot \gamma_{W1} \cdot C_{FV} \cdot M_{WV,H}}$$

Los momentos de arrufo y quebranto ya están calculados de un apartado previo de este mismo cuaderno:

MOMENTOS FLECTORES					
OLAS			AGUAS TRANQUILAS		
ARRUFO					
<b>M<sub>wv,s</sub></b>	-1 345 498,68	kN/m	<b>M<sub>swm,s</sub></b>	795 067,40	kN/m
QUEBRANTO					
<b>M<sub>wv,h</sub></b>	1 265 708,02	kN/m	<b>M<sub>swm,h</sub></b>	874 858,05	kN/m

- $\gamma_{S1} = 1$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga en aguas tranquilas. “Table 1: Plating – Partial safety factors”.
- $\gamma_{W1} = 1,15$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga con olas. “Table 1: Plating – Partial safety factors”.
- $C_{FV} = 1$ : factores. “Table 4: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
- $F_D$ : coeficiente. “Table 4: Coefficient  $F_D$ ”. Dado que la posición de estudio es la cuaderna maestra, tenemos  $F_D = C_D$ .
- $C_D$ : factor dependiente del área  $A_S$  definida en la parte inferior. Dado que  $1,0 \leq C_D \leq 1,2$ , y para simplificar los cálculos, determinaremos  $C_D = 1$ . Por tanto:  $F_D = 1$ .
- $z$ : punto a estudiar.
- $N$ : eje neutro respecto a la coordenada  $z$ .
- $I_y$ : momento de inercia.

**Table 4 : Coefficient  $F_D$**

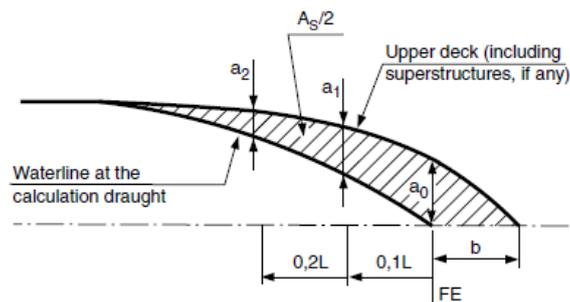
Hull transverse section location	Coefficient $F_D$
$0 \leq x < 0,4 L$	1
$0,4 L \leq x < 0,5 L$	$1 + 10(C_D - 1)\left(\frac{x}{L} - 0,4\right)$
$0,5 L \leq x \leq L$	$C_D$
<b>Note 1:</b>	
$C_D = 262,5 \frac{A_S}{CLB(C_B + 0,7)} - 0,6$ with $1,0 \leq C_D \leq 1,2$	
$A_S$ : Area, in $m^2$ , defined in [4.1.1].	

$A_S$  : Twice the shaded area shown in Fig 7, which is to be obtained, in  $m^2$ , from the following formula:

$$A_S = b a_0 + 0,1 L (a_0 + 2 a_1 + a_2)$$

$b, a_0, a_1, a_2$ : Distances, in m, shown in Fig 7.

**Figure 7 : Area  $A_S$**



## 9.2. Chapa de fondo

### 9.2.1. Espesor mínimo fondo

Dado que nuestro buque consta de una estructura longitudinal como se expuso anteriormente, calcularemos el espesor mínimo de la chapa de fondo como sigue:

$$t_{min} = 1,9 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

Donde:

- $L$ : eslora de escantillonado.
- $k$ : factor del material.
- $s$ : espaciado entre refuerzos.

### 9.2.2. Espesor mínimo quilla

Vamos a proceder a calcular en un principio el espesor mínimo de la traca de la quilla.

$$t_{quilla} = 3,8 + 0,04 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

### 9.2.3. Espesor chapa de fondo

Al tratarse de una placa sometida a presión lateral, ésta contribuye a la resistencia longitudinal.

Como se especifica en el apartado correspondiente, el espesor mínimo de la chapa de fondo se determina como sigue:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

FONDO		
<b>tmín QUILLA</b>	14,268	mm
<b>tmin</b>	11,017	mm
<b>Corrosión</b>	2,000	mm
<b>t</b>	12,527	mm
<b>Ca</b>	0,996	
<b>l</b>	2,400	m
<b>s</b>	0,825	m
<b>Cr</b>	1,000	
<b>r</b>		m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm2
<b>Ps</b>	127,702	kN/m2
<b>Pw</b>	35,795	kN/m2
<b>λL</b>	1,022	
<b>γm</b>	1,020	
<b>τ1</b>	0,000	N/mm2
<b>γS1</b>	1,000	
<b>τS1</b>	0,000	
<b>CFV</b>	1,000	
<b>γW1</b>	1,150	
<b>τW1</b>	0,000	
<b>σX1</b>	- 72,949	N/mm2
<b>σs1</b>	- 35,762	N/mm2
<b>CFT</b>	1,000	
<b>σwv1</b>	- 32,336	N/mm2
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	N/mm2
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	N/mm2
<b>τ0</b>		N/mm2
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>Mwv,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>Mswm,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>Mswm,h</b>	874 858,052	kN/m

<b>Condition</b>	- 0,096	
<b>FD</b>	1,000	
<b>ly</b>	209,653	m4
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	0,000	m
<b>γm</b>	1,020	
<b>γS2</b>	1,000	
<b>γW2</b>	1,200	

#### 9.2.4. Resumen espesor chapa de fondo

El espesor del fondo final será el más desfavorable, al cual se le añadirá un margen de corrosión:

- 1 mm por estar en contacto con el mar.
- 1 mm debido a que el doble fondo será empleado como tanque de lastre.

FONDO		
<b>tmín QUILLA</b>	16,268	mm
<b>tmín QUILLA</b>	<b>17,000</b>	<b>mm</b>
<b>tmin</b>	11,017	mm
<b>Corrosión</b>	2,000	mm
<b>t</b>	12,527	mm
<b>t</b>	<b>13,000</b>	<b>mm</b>

### 9.3. Chapa de costado

#### 9.3.1. Espesor mínimo costado

Dado que nuestro buque consta de una estructura longitudinal como se expuso anteriormente, calcularemos el espesor mínimo de la chapa de costado como sigue:

$$t_{min} = 2,1 + 0,031 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

Donde:

- *L*: eslora de escantillonado.
- *k*: factor del material.
- *s*: espaciado entre refuerzos.

#### 9.3.2. Espesor chapa de costado

Al tratarse de una placa sometida a presión lateral, ésta contribuye a la resistencia longitudinal.

Como se especifica en el apartado correspondiente, el espesor mínimo de la chapa de costado se determina como sigue:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

COSTADO		
<b>tmin</b>	10,260	mm
<b>Corrosión</b>	2,000	mm
<b>t</b>	10,256	mm
<b>Ca</b>	1,038	
<b>l</b>	2,400	m
<b>s</b>	0,650	m
<b>Cr</b>	1,000	
<b>r</b>		m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm2
<b>Ps</b>	107,591	kN/m2
<b>Pw</b>	38,561	kN/m2
<b>λL</b>	1,009	
<b>γm</b>	1,020	
<b>τ1</b>	20,810	
<b>γS1</b>	1,000	
<b>τS1</b>	12,108	N/mm2
<b>CFV</b>	1,000	
<b>γW1</b>	1,150	
<b>τW1</b>	12,108	N/mm2
<b>σX1</b>	- 72,949	
<b>σs1</b>	- 35,762	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>σwv1</b>	- 32,336	
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	
<b>τ0</b>	24,215	N/mm2
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>Mwv,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>Mswm,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>Mswm,h</b>	874 858,052	kN/m
<b>Condition</b>	- 0,096	
<b>FD</b>	1,000	
<b>ly</b>	209,653	m4
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	0,000	m
<b>γm</b>	1,020	
<b>γS2</b>	1,000	
<b>γW2</b>	1,200	

### 9.3.3. Resumen espesor chapa de costado

El espesor del costado final será el más desfavorable, al cual se le añadirá un margen de corrosión:

- 1 mm por estar en contacto con el mar.
- 1 mm como margen de seguridad extra por no llevar doble casco.

COSTADO		
<b>t<sub>min</sub></b>	10,260	mm
<b>Corrosión</b>	2,000	mm
<b>t</b>	10,256	mm
<b>t</b>	<b>11,000</b>	<b>mm</b>

## 9.4. Chapa de doble fondo

### 9.4.1. Espesor mínimo doble fondo

Dado que nuestro buque consta de una estructura longitudinal como se expuso anteriormente, calcularemos el espesor mínimo de la chapa de doble fondo como sigue:

$$t_{min} = 1,9 + 0,024 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

Donde:

- *L*: eslora de escantillonado.
- *k*: factor del material.
- *s*: espaciado entre refuerzos.

### 9.4.2. Espesor chapa de doble fondo

Al tratarse de una placa sometida a presión lateral, ésta contribuye a la resistencia longitudinal.

Como se especifica en el apartado correspondiente, el espesor mínimo de la chapa de doble fondo se determina como sigue:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

DOBLE FONDO		
<b>t<sub>min</sub></b>	9,666	mm
<b>Corrosión</b>	3,000	mm
<b>t</b>	<b>11,050</b>	<b>mm</b>
<b>Ca</b>	0,996	
<b>l</b>	2,400	m

s	0,825	m
Cr	1,000	
r		m
Ry	235,000	N/mm2
Ps	100,166	kN/m2
Pw	0,000	kN/m2
$\lambda L$	1,026	
$\gamma_m$	1,020	
$\tau_1$	0,000	
$\gamma_{S1}$	1,000	
$\tau_{S1}$	0,000	N/mm2
CFV	1,000	
$\gamma_{W1}$	1,150	
$\tau_{W1}$	0,000	N/mm2
$\sigma_{X1}$	- 55,924	
$\sigma_{s1}$	- 27,416	
CFT	1,000	
$\sigma_{wv1}$	- 24,790	
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
$\tau_0$		N/mm2
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m
M <sub>swm,s</sub>	795 067,400	kN/m
M <sub>swm,h</sub>	874 858,052	kN/m
Condition	- 0,096	
FD	1,000	
I <sub>y</sub>	209,653	m4
N	8,570	m
z	2,000	m
$\gamma_m$	1,020	
$\gamma_{S2}$	1,000	
$\gamma_{W2}$	1,200	

#### 9.4.3. Resumen espesor chapa de doble fondo

El espesor del costado final será el más desfavorable, al cual se le añadirá un margen de corrosión:

- 1 mm debido a que el doble fondo será empleado como tanque de lastre.

Además, según se estipula en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 1*, se añadirán 2 mm al espesor:

## 2.4 Inner bottom of cargo holds intended to carry dry cargo

2.4.1 For ships with one of the following service notations:

- **general cargo ship**, intended to carry dry bulk cargo in holds
- **bulk carrier**
- **bulk carrier ESP**
- **ore carrier ESP**
- **combination carrier ESP**

the inner bottom net thickness is to be increased by 2 mm unless it is protected by a continuous wooden ceiling.

DOBLE FONDO		
<b>t<sub>min</sub></b>	9,666	mm
<b>Corrosión</b>	3,000	mm
<b>t</b>	11,050	mm
<b>t</b>	<b>12,000</b>	<b>mm</b>

## 9.5. Chapa del pantoque

El reglamento BV en su Parte B, Capítulo 7, Sección 1 estipula lo siguiente para la chapa del pantoque:

### 2.3 Bilge plating

2.3.1 The net thickness of the longitudinally framed bilge plating, in mm, is to be not less than the greater of:

- value obtained from [3.3.1]
- value obtained from [5], to be checked as curved panel.

Donde:

- Punto 3.3.1.:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

- Punto 5: fórmula de aplicación de estudio del pandeo del panel.

Por lo tanto, para el cálculo del espesor de la chapa de pantoque emplearemos el mismo método usado hasta ahora:

PANTOQUE		
<b>Corrosión</b>	2,000	mm
<b>t</b>	<b>11,152</b>	<b>mm</b>
<b>Ca</b>	1,002	

<b>l</b>	2,400	m
<b>s</b>	0,800	m
<b>Cr</b>	0,886	
<b>r</b>	3,500	m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm2
<b>Ps</b>	127,702	kN/m2
<b>Pw</b>	35,795	kN/m2
<b>λL</b>	1,009	
<b>γm</b>	1,020	
<b>τ1</b>	20,810	
<b>γS1</b>	1,000	
<b>τS1</b>	12,108	N/mm2
<b>CFV</b>	1,000	
<b>γW1</b>	1,150	
<b>τW1</b>	12,108	N/mm2
<b>σX1</b>	- 72,949	
<b>σs1</b>	- 35,762	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>σwv1</b>	- 32,336	
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	
<b>τ0</b>	24,215	N/mm2
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>Mwv,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>Mswm,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>Mswm,h</b>	874 858,052	kN/m
<b>Condition</b>	- 0,096	
<b>FD</b>	1,000	
<b>ly</b>	209,653	m4
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	0,000	m
<b>γm</b>	1,020	
<b>γS2</b>	1,000	
<b>γW2</b>	1,200	

### 9.5.1. Resumen espesor chapa de pantoque

Al espesor del pantoque final se le añadirá un margen de corrosión:

- 1 mm por estar en contacto con el mar.
- 1 mm debido a que el doble fondo será empleado como tanque de lastre.

PANTOQUE		
Corrosión	2,000	mm
t	11,152	mm
t	<b>12,000</b>	<b>mm</b>

## 9.6. Chapa tolva superior

### 9.6.1. Espesor mínimo tolva superior

Dado que nuestro buque consta de una estructura longitudinal como se expuso anteriormente, calcularemos el espesor mínimo de la chapa de costado como sigue:

$$t_{min} = 1,6 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

Donde:

- $L$ : eslora de escantillonado.
- $k$ : factor del material.
- $s$ : espaciado entre refuerzos.

### 9.6.2. Espesor chapa de tolva superior

Como se especifica en el apartado correspondiente, el espesor mínimo de la chapa de la tolva superior se determina como sigue:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

TOLVA SUPERIOR		
tmin	10,604	mm
Corrosión	1,000	mm
t	13,513	mm
Ca	1,002	
l	2,400	m
s	0,800	m
Cr	1,000	
r	INFINITO	m
Ry	235,000	N/mm2
Ps	113,640	kN/m2
Pw	56,410	kN/m2
$\lambda_L$	0,731	
$\gamma_m$	1,020	
$\tau_1$	82,973	
$\gamma_{S1}$	1,000	
$\tau_{S1}$	48,275	N/mm2
CFV	1,000	
$\gamma_{W1}$	1,150	

$\tau_{W1}$	48,275	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{X1}$	36,006	
$\sigma_{s1}$	17,651	
CFT	1,000	
$\sigma_{wv1}$	15,961	
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
$\tau_0$	24,215	N/mm <sup>2</sup>
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m
M <sub>swm,s</sub>	795 067,400	kN/m
M <sub>swm,h</sub>	874 858,052	kN/m
Condition	- 0,096	
FD	1,000	
I <sub>y</sub>	209,653	m <sup>4</sup>
N	8,570	m
z	12,800	m
$\gamma_m$	1,020	
$\gamma_{S2}$	1,000	
$\gamma_{W2}$	1,200	

### 9.6.3. Resumen espesor chapa de tolva superior

Al espesor de la tolva superior final se le añadirá un margen de corrosión:

- 1 mm debido a que tanque de la tolva será empleado como tanque de lastre.

TOLVA SUPERIOR		
t <sub>min</sub>	10,604	mm
Corrosión	1,000	mm
t	13,513	mm
t	14	mm

## 9.7. Chapa cubierta

### 9.7.1. Espesor mínimo cubierta

Dado que nuestro buque consta de una estructura longitudinal como se expuso anteriormente, calcularemos el espesor mínimo de la chapa de cubierta teniendo en cuenta que ésta es una cubierta a la intemperie:

$$t_{min} = 1,6 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

Donde:

- $L$ : eslora de escantillonado.
- $k$ : factor del material.
- $s$ : espaciado entre refuerzos.

### 9.7.2. Espesor chapa de cubierta

Al tratarse de una placa sometida a presión lateral, ésta contribuye a la resistencia longitudinal.

Como se especifica en el apartado correspondiente, el espesor mínimo de la chapa de cubierta se determina como sigue:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{\lambda_L \cdot R_y}}$$

CUBIERTA		
<b>tmin</b>	10,379	mm
<b>Corrosión</b>	1,000	mm
<b>t</b>	11,489	mm
<b>Ca</b>	1,014	
<b>l</b>	2,400	m
<b>s</b>	0,750	m
<b>Cr</b>	1,000	
<b>r</b>		m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm2
<b>Ps</b>	70,000	kN/m2
<b>Pw</b>	17,500	kN/m2
<b>λL</b>	0,470	
<b>γm</b>	1,020	
<b>τ1</b>	104,050	
<b>γS1</b>	1,000	
<b>τS1</b>	60,538	N/mm2
<b>CFV</b>	1,000	
<b>γW1</b>	1,150	
<b>τW1</b>	60,538	N/mm2
<b>σX1</b>	72,949	
<b>σs1</b>	35,762	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>σwv1</b>	32,336	
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	
<b>τ0</b>	24,215	N/mm2
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m

<b>M<sub>wv</sub>,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>M<sub>swm</sub>,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>M<sub>swm</sub>,h</b>	874 858,052	kN/m
<b>Condition</b>	- 0,096	
<b>FD</b>	1,000	
<b>l<sub>y</sub></b>	209,653	m <sup>4</sup>
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	17,140	m
<b>γ<sub>m</sub></b>	1,020	
<b>γ<sub>S2</sub></b>	1,000	
<b>γ<sub>W2</sub></b>	1,200	

### 9.7.3. Resumen espesor chapa de cubierta

El espesor de la cubierta final será el más desfavorable, al cual se le añadirá un margen de corrosión de 1 mm:

<b>CUBIERTA</b>		
<b>t<sub>min</sub></b>	10,379	mm
<b>Corrosión</b>	1,000	mm
<b>t</b>	11,489	mm
<b>t</b>	12,000	mm

### 9.8. Resumen de los espesores de chapa

<b>RESUMEN ESPESORES (mm)</b>	
<b>Quilla</b>	17,00
<b>Fondo</b>	13,00
<b>Costado</b>	11,00
<b>Doble fondo</b>	12,00
<b>Pantoque</b>	12,00
<b>Tolva superior</b>	14,00
<b>Cubierta</b>	12,00

## 10. DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS PRIMARIOS

En este apartado procederemos a realizar el dimensionamiento de los refuerzos primarios del buque teniendo en cuenta que son elementos de fabricación propia, es decir, que no forman parte de ningún prontuario comercial, por lo que se tratarán según el convenio como hasta ahora se venían tratando en los apartados anteriores las chapas.

Por tanto, continuaremos siguiendo el *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 7, Sección 3*.

Se consideran refuerzos primarios a aquellos que forman un anillo el cual sirve de soporte para los elementos de la estructura longitudinal. Este anillo de refuerzo se repite cada 2 400 mm dada la separación de las cuadernas.

Tendremos pues, que realizar los cálculos pertinentes para los siguientes elementos en los cuales habrá que tener en cuenta la chapa asociada:

- Varenga
- Bulárcama
- Bao

Como regla general, su espesor mínimo lo obtenemos como sigue:

$$t_{min} = 3,7 + 1,8 \cdot k^{1/2} = 3,7 + 1,8 \cdot 1^{1/2} = 5,5 \approx 6 \text{ mm}$$

### 10.1. Varenga

La varenga se dimensiona asimilándola a una chapa comprendida entre el fondo y el doble fondo, la cual no contribuye a la resistencia longitudinal. Obtenemos pues, su espesor siguiendo el *BV en su Parte B, Capítulo 7, Sección 1* y, por tanto, empleando la misma fórmula que en el apartado de chapas.

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{R_y}}$$

VARENGA		
<b>t<sub>min</sub></b>	5,500	mm
<b>t</b>	19,839	mm
<b>Ca</b>	0,642	
<b>l</b>	2,000	m
<b>s</b>	2,400	m
<b>Cr</b>	1,000	
<b>r</b>		m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>Ps</b>	127,702	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pw</b>	35,795	kN/m <sup>2</sup>
<b>λL</b>	1,011	
<b>γ<sub>m</sub></b>	1,020	

$\tau_1$	20,432	
$\gamma_{S1}$	1,000	
$\tau_{S1}$	12,108	N/mm <sup>2</sup>
CFV	1,000	
$\gamma_{W1}$	1,100	
$\tau_{W1}$	12,108	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{X1}$	- 71,332	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{s1}$	- 35,762	
CFT	1,000	
$\sigma_{wv1}$	- 32,336	N/mm <sup>2</sup>
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
$\tau_0$	24,215	N/mm <sup>2</sup>
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m
M <sub>swm,s</sub>	795 067,400	kN/m
M <sub>swm,h</sub>	874 858,052	kN/m
Condition	- 0,074	
FD	1,000	
I <sub>y</sub>	209,653	m <sup>4</sup>
N	8,570	m
z	0,000	m
$\gamma_m$	1,020	
$\gamma_{S2}$	1,000	
$\gamma_{W2}$	1,200	

## 10.2. Bulárcama

La bulárcama se dimensiona asimilándola a una chapa que no contribuye a la resistencia longitudinal y que a su vez debe tener la longitud suficiente para abarcar los refuerzos longitudinales secundarios del costado.

Nuevamente, obtenemos su espesor siguiendo el *BV en su Parte B, Capítulo 7, Sección 1*.

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_y}}$$

BULÁRCAMA		
t <sub>min</sub>	5,500	mm
t	18,939	mm
Ca	0,642	
l	2,000	m

s	2,400	m
Cr	1,000	
r		m
Ry	235,000	N/mm2
Ps	107,591	kN/m2
Pw	38,561	kN/m2
$\lambda L$	1,000	
$\gamma m$	1,020	
$\tau 1$	29,968	
$\gamma S1$	1,000	
$\tau S1$	17,759	N/mm2
CFV	1,000	
$\gamma W1$	1,100	
$\tau W1$	17,759	N/mm2
$\sigma X1$	- 54,685	N/mm2
$\sigma s1$	- 27,416	
CFT	1,000	
$\sigma wv1$	- 24,790	N/mm2
CFH	0,000	
$\sigma WH1$	0,000	
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma \Omega$	0,000	
$\tau 0$	24,215	N/mm2
Mwv,s	-1 345 498,677	kN/m
Mwv,h	1 265 708,025	kN/m
Mswm,s	795 067,400	kN/m
Mswm,h	874 858,052	kN/m
Condition	- 0,074	
FD	1,000	
Iy	209,653	m4
N	8,570	m
z	2,000	m
$\gamma m$	1,020	
$\gamma S2$	1,000	
$\gamma W2$	1,200	

### 10.3. Bao

El bao se dimensiona asimilándolo a una chapa que no contribuye a la resistencia longitudinal y que a su vez debe tener la longitud suficiente para abarcar los refuerzos longitudinales secundarios de la cubierta.

Nuevamente, obtenemos su espesor siguiendo el *BV en su Parte B, Capítulo 7, Sección 1*.

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{R_y}}$$

BAO		
<b>tmin</b>	5,500	mm
<b>t</b>	14,487	mm
<b>Ca</b>	0,642	
<b>l</b>	2,000	m
<b>s</b>	2,400	m
<b>Cr</b>	1,000	
<b>r</b>		m
<b>Ry</b>	235,000	N/mm2
<b>Ps</b>	70,000	kN/m2
<b>Pw</b>	17,500	kN/m2
<b>λL</b>	1,011	
<b>γm</b>	1,020	
<b>τ1</b>	20,432	
<b>γS1</b>	1,000	
<b>τS1</b>	12,108	N/mm2
<b>CFV</b>	1,000	
<b>γW1</b>	1,100	
<b>τW1</b>	12,108	N/mm2
<b>σX1</b>	- 71,332	N/mm2
<b>σs1</b>	- 35,762	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>σwv1</b>	- 32,336	N/mm2
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	
<b>τ0</b>	24,215	N/mm2
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>Mwv,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>Mswm,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>Mswm,h</b>	874 858,052	kN/m
<b>Condition</b>	- 0,074	
<b>FD</b>	1,000	
<b>ly</b>	209,653	m4
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>		m
<b>γm</b>	1,020	
<b>γS2</b>	1,000	
<b>γW2</b>	1,200	

## 11. DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS LONGITUDINALES

Los refuerzos secundarios se dimensionarán según los requisitos del *Bureau Veritas en su Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, mediante el uso de perfiles de llanta bulo.

Se estudiarán los perfiles necesarios en las siguientes zonas:

- Longitudinales de fondo.
- Longitudinales del doble fondo.
- Longitudinales del casco.
- Longitudinales de cubierta.
- Longitudinales de pantoque.

En este apartado se procederá a obtener el módulo y el área seccional mínimos de los distintos refuerzos para así escoger un perfil idóneo en los prontuarios comerciales adecuados.

A continuación, procedemos a detallar los pasos a seguir para obtener tales objetivos y así simplificar los pasos en su correspondiente apartado.

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{m \cdot (R_y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{x1})} \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$A_{sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \cdot \frac{\gamma_{s2} \cdot P_s + \gamma_{w2} \cdot P_w}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l$$

Donde:

- $\gamma_R = 1,02$ : factor de seguridad por resistencia. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
- $\gamma_m = 1,02$ : factor de seguridad por material. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
- $\beta_b$  y  $\beta_s$ : coeficientes en función de las consolas en los extremos del refuerzo. “Table 5: Coefficients  $\beta_b$  and  $\beta_s$ ”.
- $\gamma_{s2} = 1$ : factor de seguridad por presión en aguas tranquilas. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
- $P_s$  y  $P_w$ : presiones en aguas tranquilas y en olas, respectivamente. Calculadas con anterioridad.
- $\gamma_{w2} = 1,2$ : factor de seguridad por presión en olas. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
- $m = 8$ : coeficiente de contorno determinado por el reglamento.
- $R_y$ : tensión elástica mínima.
- $s$ : separación de los refuerzos.
- $l$ : luz de los refuerzos medida entre los elementos de soporte.
- $\sigma_{x1} = \gamma_{s1} \cdot \sigma_{s1} + \gamma_{w1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{wv1} + C_{FH} \cdot \sigma_{wh1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$ 
  - $\gamma_{s1} = 1$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga en aguas tranquilas. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
  - $\sigma_{s1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses – Ordinary stiffeners subjected to lateral pressure”.

- $\gamma_{W1} = 1,15$ : factor de seguridad cargas sobre el buque viga con olas. “Table 1: Ordinary stiffeners – Partial safety factors”.
- $C_{FT} = 1$ : factor de reducción para operaciones normales.
- $C_{FV} = 1$ : factores. “Table 2: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
- $\sigma_{WV1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses – Ordinary stiffeners subjected to lateral pressure”.
- $C_{FH} = 0$ : factores. “Table 2: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
- $\sigma_{WH1}$ : esfuerzo normal. “Table 3: Hull girder normal stresses – Ordinary stiffeners subjected to lateral pressure”.
- $C_{F\Omega} = 0$ : factores. “Table 2: Combination factores  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$ ,  $C_{F\Omega}$ ”.
- $\sigma_{\Omega}$ : estrés por deformación.

**Table 1 : Ordinary stiffeners - Partial safety factors**

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Yielding check				Buckling check	Ultimate strength check
		General	Sloshing pressure	Flooding pressure (1)	Testing check		
		(see [3.3] to [3.7])		(see [3.8])	(see [3.9])		
Still water hull girder loads	$\gamma_{S1}$	1,00	0	1,00	N.A.	1,00	1,00
Wave hull girder loads	$\gamma_{W1}$	1,15	0	1,15	N.A.	1,15	1,30
Still water pressure	$\gamma_{S2}$	1,00	1,00	1,00	1,00	N.A.	1,00
Wave pressure	$\gamma_{W2}$	1,20	1,10	1,05	N.A.	N.A.	1,40
Material	$\gamma_m$	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Resistance	$\gamma_R$	1,02	1,02	1,02 (2)	1,20	1,10	1,02

(1) Applies only to ordinary stiffeners to be checked in flooding conditions.  
(2) For ordinary stiffeners of the collision bulkhead,  $\gamma_R = 1,25$ .  
**Note 1:** N.A. = Not applicable.

**Table 5 : Coefficients  $\beta_b$  and  $\beta_s$**

Brackets at ends	Bracket lengths	$\beta_b$	$\beta_s$
0	–	1	1
1	$\ell_b$	$\left(1 - \frac{\ell_b}{2\ell}\right)^2$	$1 - \frac{\ell_b}{2\ell}$
2	$\ell_{b1}; \ell_{b2}$	$\left(1 - \frac{\ell_{b1}}{2\ell} - \frac{\ell_{b2}}{2\ell}\right)^2$	$1 - \frac{\ell_{b1}}{2\ell} - \frac{\ell_{b2}}{2\ell}$

**Table 3 : Hull girder normal stresses - Ordinary stiffeners subjected to lateral pressure**

Condition	$\sigma_{SI}$ , in N/mm <sup>2</sup> (1)	$\sigma_{WV1}$ , in N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{WH1}$ , in N/mm <sup>2</sup>
Lateral pressure applied on the side opposite to the ordinary stiffener, with respect to the plating: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>z \geq N</math> in general ; <math>z &lt; N</math> for stiffeners simply supported at both ends</li> <li><math>z &lt; N</math> in general ; <math>z \geq N</math> for stiffeners simply supported at both ends</li> </ul>	$\left  \frac{M_{SW,S}(z-N)}{I_Y} \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 F_D M_{WV,S}(z-N)}{I_Y} \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 M_{WH,Y}}{I_Z} \right  10^{-3}$
Lateral pressure applied on the same side as the ordinary stiffener: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>z \geq N</math> in general ; <math>z &lt; N</math> for stiffeners simply supported at both ends</li> <li><math>z &lt; N</math> in general ; <math>z \geq N</math> for stiffeners simply supported at both ends</li> </ul>	$\left  \frac{M_{SW,H}(z-N)}{I_Y} \right  10^{-3}$	$\left  \frac{0,625 M_{WV,H}(z-N)}{I_Y} \right  10^{-3}$	
(1) When the ship in still water is always in hogging condition, $M_{SW,S}$ is to be taken equal to 0. <b>Note 1:</b> $F_D$ : Coefficient defined in Ch 5, Sec 2, [4].			

**Table 2 : Combination factors  $C_{FV}$ ,  $C_{FH}$  and  $C_{F\Omega}$**

Load case	$C_{FV}$	$C_{FH}$	$C_{F\Omega}$
"a"	1,0	0	0
"b"	1,0	0	0
"c"	0,4	1,0	1,0
"d"	0,4	1,0	0
Flooding	0,6	0	0

### 11.1. Longitudinales de fondo

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

FONDO		
w	383,593	m <sup>3</sup>
Ash	12,388	m
$\gamma_R$	1,020	
$\gamma_m$	1,020	
$\beta_b$	1,000	
$\gamma_{s2}$	1,000	
$\gamma_{w2}$	1,200	
m	8,000	
Ps	127,702	kN/m <sup>2</sup>
Pw	35,795	kN/m <sup>2</sup>
Ry	235,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{x1}$	7,031	N/mm <sup>2</sup>

s	0,825	m
l	2,400	m
$\beta_s$	1,000	
$\gamma_{s1}$	1,000	
$\sigma_{s1}$	- 32,500	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{wv1}$	34,375	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{w1}$	1,150	
CFT	1,000	
CFV	1,000	
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	N/mm <sup>2</sup>
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
FD	1,000	
I <sub>y</sub>	209,653	m <sup>4</sup>
N	8,570	m
z	0,000	m
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m
M <sub>swm,s</sub>	795 067,400	kN/m
M <sub>swm,h</sub>	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE FONDO	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	383,593	12,388	391,000	34,900	240x11

## 11.2. Longitudinales del doble fondo

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

DOBLE FONDO		
w	223,472	m <sup>3</sup>
Ash	7,271	m
$\gamma_R$	1,020	
$\gamma_m$	1,020	

$\beta_b$	1,000	
$\gamma_{s2}$	1,000	
$\gamma_{w2}$	1,200	
$m$	8,000	
$P_s$	100,166	kN/m <sup>2</sup>
$P_w$	0,000	kN/m <sup>2</sup>
$R_y$	235,000	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{x1}$	5,390	N/mm <sup>2</sup>
$s$	0,825	m
$l$	2,400	m
$\beta_s$	1,000	
$\gamma_{s1}$	1,000	
$\sigma_{s1}$	- 24,915	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{wv1}$	26,353	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{w1}$	1,150	
$C_{FT}$	1,000	
$C_{FV}$	1,000	
$C_{FH}$	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	N/mm <sup>2</sup>
$C_{F\Omega}$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
$FD$	1,000	
$I_y$	209,653	m <sup>4</sup>
$N$	8,570	m
$z$	2,000	m
$M_{wv,s}$	-1 345 498,677	kN/m
$M_{wv,h}$	1 265 708,025	kN/m
$M_{swm,s}$	795 067,400	kN/m
$M_{swm,h}$	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE DOBLE FONDO	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	223,472	7,271	237,000	25,600	200X10

### 11.3. Longitudinales del casco

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

CASCO		
w	284,483	m <sup>3</sup>
Ash	9,188	m
γ <sub>R</sub>	1,020	
γ <sub>m</sub>	1,020	
β <sub>b</sub>	1,000	
γ <sub>s2</sub>	1,000	
γ <sub>w2</sub>	1,200	
m	8,000	
P <sub>s</sub>	107,591	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>w</sub>	38,561	kN/m <sup>2</sup>
R <sub>y</sub>	235,000	N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>x1</sub>	7,031	N/mm <sup>2</sup>
s	0,650	m
l	2,400	m
β <sub>s</sub>	1,000	
γ <sub>s1</sub>	1,000	
σ <sub>s1</sub>	- 32,500	N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>wv1</sub>	34,375	N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>w1</sub>	1,150	
CFT	1,000	
CFV	1,000	
CFH	0,000	
σ <sub>WH1</sub>	0,000	N/mm <sup>2</sup>
CFΩ	0,000	
σΩ	0,000	
FD	1,000	
I <sub>y</sub>	209,653	m <sup>4</sup>
N	8,570	m
z	0,000	m
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m
M <sub>swm,s</sub>	795 067,400	kN/m
M <sub>swm,h</sub>	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE COSTADO	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm3)	Área (m2)	Módulo (cm3)	Área (m2)	Dimensiones (mm)
	284,483	9,188	302,000	29,000	220X10

#### 11.4. Longitudinales de cubierta

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

CUBIERTA		
w	271,124	m3
Ash	6,119	m
$\gamma_R$	1,020	
$\gamma_m$	1,020	
$\beta_b$	1,000	
$\gamma_{s2}$	1,000	
$\gamma_{w2}$	1,200	
m	8,000	
Ps	70,000	kN/m2
Pw	17,500	kN/m2
Ry	235,000	N/mm2
$\sigma_{x1}$	72,949	N/mm2
s	0,750	m
l	2,400	m
$\beta_s$	1,000	
$\gamma_{s1}$	1,000	
$\sigma_{s1}$	35,762	N/mm2
$\sigma_{wv1}$	32,336	N/mm2
$\gamma_{w1}$	1,150	
CFT	1,000	
CFV	1,000	
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	N/mm2
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
FD	1,000	
ly	209,653	m4
N	8,570	m
z	17,140	m
M <sub>wv,s</sub>	-1 345 498,677	kN/m
M <sub>wv,h</sub>	1 265 708,025	kN/m

<b>M<sub>swm,s</sub></b>	795 067,400	kN/m
<b>M<sub>swm,h</sub></b>	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE CUBIERTA	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	271,124	6,119	302,000	29,000	220X10

### 11.5. Longitudinales de pantoque

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

PANTOQUE		
<b>w</b>	374,309	m <sup>3</sup>
<b>Ash</b>	12,089	m
<b>γ<sub>R</sub></b>	1,020	
<b>γ<sub>m</sub></b>	1,020	
<b>β<sub>b</sub></b>	1,000	
<b>γ<sub>s2</sub></b>	1,000	
<b>γ<sub>w2</sub></b>	1,200	
<b>m</b>	8,000	
<b>P<sub>s</sub></b>	127,702	kN/m <sup>2</sup>
<b>P<sub>w</sub></b>	35,795	kN/m <sup>2</sup>
<b>R<sub>y</sub></b>	235,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>σ<sub>x1</sub></b>	7,031	N/mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	0,800	m
<b>l</b>	2,400	m
<b>β<sub>s</sub></b>	1,000	
<b>γ<sub>s1</sub></b>	1,000	
<b>σ<sub>s1</sub></b>	- 32,500	N/mm <sup>2</sup>
<b>σ<sub>wv1</sub></b>	34,375	N/mm <sup>2</sup>
<b>γ<sub>w1</sub></b>	1,150	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>CFV</b>	1,000	
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σ<sub>WH1</sub></b>	0,000	N/mm <sup>2</sup>

<b>CF<math>\Omega</math></b>	0,000	
<b><math>\sigma\Omega</math></b>	0,000	
<b>FD</b>	1,000	
<b>ly</b>	209,653	m4
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	0,000	m
<b>M<sub>wv,s</sub></b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>M<sub>wv,h</sub></b>	1 265 708,025	kN/m
<b>M<sub>swm,s</sub></b>	795 067,400	kN/m
<b>M<sub>swm,h</sub></b>	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE PANTOQUE	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	374,309	12,089	391,000	34,900	240X11

## 11.6. Longitudinales tolva inferior

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

TOLVA INFERIOR		
<b>w</b>	206,990	m <sup>3</sup>
<b>Ash</b>	6,735	m
<b><math>\gamma_R</math></b>	1,020	
<b><math>\gamma_m</math></b>	1,020	
<b><math>\beta_b</math></b>	1,000	
<b><math>\gamma_{s2}</math></b>	1,000	
<b><math>\gamma_{w2}</math></b>	1,200	
<b>m</b>	8,000	
<b>P<sub>s</sub></b>	100,166	kN/m <sup>2</sup>
<b>P<sub>w</sub></b>	0,000	kN/m <sup>2</sup>
<b>R<sub>y</sub></b>	235,000	N/mm <sup>2</sup>
<b><math>\sigma_{x1}</math></b>	5,390	N/mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	0,750	m
<b>l</b>	2,400	m
<b><math>\beta_s</math></b>	1,000	

$\gamma_{s1}$	1,000	
$\sigma_{s1}$	- 24,915	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{wv1}$	26,353	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{w1}$	1,150	
CFT	1,000	
CFV	1,000	
CFH	0,000	
$\sigma_{WH1}$	0,000	N/mm <sup>2</sup>
CF $\Omega$	0,000	
$\sigma_{\Omega}$	0,000	
FD	1,000	
$I_y$	209,653	m <sup>4</sup>
N	8,570	m
z	2,000	m
$M_{wv,s}$	-1 345 498,677	kN/m
$M_{wv,h}$	1 265 708,025	kN/m
$M_{swm,s}$	795 067,400	kN/m
$M_{swm,h}$	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE TOLVA INFERIOR	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	206,990	6,735	225,000	23,600	200X9

### 11.7. Longitudinales tolva superior

Según se indica en el *BV, Parte B, Capítulo 7, Sección 2*, los refuerzos longitudinales tendrán un módulo y un área seccional no inferior a los que se presentan a continuación:

TOLVA SUPERIOR		
w	458,418	m <sup>3</sup>
Ash	12,845	m
$\gamma_R$	1,020	
$\gamma_m$	1,020	
$\beta_b$	1,000	
$\gamma_{s2}$	1,000	
$\gamma_{w2}$	1,200	

<b>m</b>	8,000	
<b>Ps</b>	113,640	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pw</b>	56,410	kN/m <sup>2</sup>
<b>Ry</b>	235,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>σx1</b>	36,006	N/mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	0,800	m
<b>l</b>	2,400	m
<b>βs</b>	1,000	
<b>γs1</b>	1,000	
<b>σs1</b>	17,651	N/mm <sup>2</sup>
<b>σwv1</b>	15,961	N/mm <sup>2</sup>
<b>γw1</b>	1,150	
<b>CFT</b>	1,000	
<b>CFV</b>	1,000	
<b>CFH</b>	0,000	
<b>σWH1</b>	0,000	N/mm <sup>2</sup>
<b>CFΩ</b>	0,000	
<b>σΩ</b>	0,000	
<b>FD</b>	1,000	
<b>Iy</b>	209,653	m <sup>4</sup>
<b>N</b>	8,570	m
<b>z</b>	12,800	m
<b>Mwv,s</b>	-1 345 498,677	kN/m
<b>Mwv,h</b>	1 265 708,025	kN/m
<b>Mswm,s</b>	795 067,400	kN/m
<b>Mswm,h</b>	874 858,052	kN/m

A continuación, elegiremos el perfil de tal manera que deberá cumplir con los valores mínimos del módulo resistente y área seccional. Estos valores incluyen la aportación de la resistencia de la chapa asociada, por lo que a la hora de escoger el perfil será necesario tenerlo en cuenta.

Ayudados del prontuario comercial de los refuerzos tipo bulbo procederemos a elegir el que más se adecúe a nuestro buque:

REFUERZO LONGITUDINAL DE TOLVA SUPERIOR	VALORES MÍNIMO		REFUERZO TIPO BULBO		
	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Módulo (cm <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensiones (mm)
	458,418	12,845	474,000	38,700	260X11

## 12. COMPROBACIÓN DEL MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA

A lo largo del presente apartado realizaremos la comprobación pertinente para cerciorarse de que el módulo resistente de la cuaderna maestra cumple con el exigido. Para tal fin no se tendrán en cuenta los elementos que contribuyen a la resistencia longitudinal, estos son, varengas, bulárcamas y baos.

Para la inercia propia de los elementos para los cuales se volvió necesario realizar su cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$I_{propia} = \frac{A \cdot h_{eq}^2}{12}$$

Donde:

- A: área, en  $cm^2$ .
- $h_{eq}$ : altura equivalente, en m.

La inercia propia de los refuerzos se obtendrá consultando el prontuario de perfiles tipo bulbo empleado, el cual se muestra como *Anexo I*. Se calculará en base a la siguiente fórmula:

$$I_{propia} = I_x \cdot \cos \alpha$$

Donde:

- $I_x$ : Inercia propia, obtenida del prontuario.
- $\alpha$ : ángulo que forma el refuerzo con el eje vertical, medido en deg.

La altura equivalente será la proyección vertical de los elementos, donde en las chapas planas se obtendrá midiendo directamente sobre el plano. Por otro lado, en los refuerzos, se obtendrá siguiendo el proceso inverso, es decir, obteniéndolo a través de la fórmula mostrada anteriormente.

ELEMENTO	b cm	h cm	Nº	A	YG	A x Yg	A x Yg 2	Heq	Ipropia
<b>FONDO</b>									
Quilla	243	1,3	1	315,9	0,007	2,1	0,013	0,013	0,004448925
Fondo	1175,7	1,7	1	1998,7	0,009	17,0	0,144	0,017	0,048
Refuerzo fondo	240x11		15	411,0	0,023	9,5	0,217	0,54	10,14
<b>DOBLE FONDO</b>									
Doble fondo	1175,7	1,2	1	1410,84	2,006	2830,1	5677,271	0,012	0,017
Refuerzo DF	200x10		15	301,5	2,04	615,1	1254,7	0,67	11,31
<b>COSTADO</b>									
Costado	1,1	1714	1	1885,4	8,6	16157,9	138473,0	0,01	0,0
Refuerzo Costado 1	220x10		1	29	7,31	211,9	1548,2	0,00	0,947
Refuerzo Costado 2	220x10		1	29	8,13	235,8	1918,0	0,00	0,947
Refuerzo Costado 3	220x10		1	29	8,96	259,8	2327,4	0,00	0,947
Refuerzo Costado 4	220x10		1	29	9,78	283,8	2776,4	0,00	0,947
Refuerzo Costado 5	220x10		1	29	10,61	307,7	3264,9	0,00	0,947
Refuerzo Costado 6	220x10		1	29	11,44	331,7	3793,0	0,00	0,947

Refuerzo Costado 7	220x10	1	29	12,26	355,6	4360,7	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 8	220x10	1	29	13,09	379,6	4968,0	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 9	220x10	1	29	13,91	403,5	5614,8	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 10	220x10	1	29	14,74	427,5	6301,2	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 11	220x10	1	29	15,57	451,4	7027,2	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 12	220x10	1	29	16,39	475,4	7792,7	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 13	220x10	1	29	17,22	499,3	8597,8	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 14	220x10	1	29	18,04	523,3	9442,5	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 15	220x10	1	29	18,87	547,2	10326,8	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 16	220x10	1	29	19,70	571,2	11250,6	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 17	220x10	1	29	20,52	595,2	12214,0	0,00	0,947	
Refuerzo Costado 18	220x10	1	29	21,35	619,1	13217,0	0,00	0,947	
<b>TOLVA SUPERIOR</b>									
Tolva superior	1200	1,4	1	1680	25,2	42337,7	1066951,9	9,00	11345,0
Refuerzo Tolva superior 1	260x11	1	38,7	13,11	507,2	6647,4	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 2	260x11	1	38,7	13,72	530,9	7282,7	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 3	260x11	1	38,7	14,33	554,6	7947,0	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 4	260x11	1	38,7	14,94	578,3	8640,3	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 5	260x11	1	38,7	15,55	601,9	9362,6	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 6	260x11	1	38,7	16,17	625,6	10113,8	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 7	260x11	1	38,7	16,78	649,3	10894,1	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 8	260x11	1	38,7	17,39	673,0	11703,3	0,42	0,560	
Refuerzo Tolva superior 9	260x11	1	38,7	18,00	696,7	12541,6	0,42	0,560	
<b>TOLVA INFERIOR</b>									
Tolva inferior	840	1,2	1	1008	3,5	3528,0	12348,0	3,00	756,0
Refuerzo tolva inferior 1	200x9	1	23,6	3,018	71,2	215,0	0,46	0,415	
Refuerzo tolva inferior 2	200x9	1	23,6	3,454	81,5	281,6	0,46	0,415	
Refuerzo tolva inferior 3	200x9	1	23,6	3,89	91,8	357,1	0,46	0,415	
Refuerzo tolva inferior 4	200x9	1	23,6	4,326	102,1	441,7	0,46	0,415	
Refuerzo tolva inferior 5	200x9	1	23,6	4,762	112,4	535,2	0,46	0,415	
<b>PANTOQUE</b>									
Pantoque	940	20	1	18800	1,3	23596,5	29616,8	3,74	21933,4
Refuerzo Pantoque 1	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 2	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 3	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 4	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 5	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 6	240x11	1	34,9	0,036	1,3	0,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 7	240x11	1	34,9	0,236	8,2	1,9	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 8	240x11	1	34,9	0,636	22,2	14,1	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 9	240x11	1	34,9	1,036	36,2	37,5	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 10	240x11	1	34,9	1,436	50,1	72,0	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 11	240x11	1	34,9	1,836	64,1	117,6	0,49	0,711	
Refuerzo Pantoque 12	240x11	1	34,9	2,236	78,0	174,5	0,49	0,711	

Refuerzo Pantoque 13	240x11	1	34,9	2,636	92,0	242,5	0,49	0,711	
<b>CUBIERTA</b>									
Cubierta Principal	775	1,2	1	930	24,7	22976,6	567659,4	0,01	0,0112
Refuerzos Cub Ppal	220x10	9	261	17,156	4477,7	76819,7	0,28	1,674	
			<b>30444,3</b>		<b>130261,9</b>	<b>2103165,9</b>		<b>34091,0347</b>	

Los resultados totales obtenidos fueron los siguientes:

$$Area = 30\,444,3\,cm^2$$

$$Area \cdot YG = 130\,261,9\,cm^2 \cdot m$$

$$Area \cdot YG^2 = 2\,103\,165,9\,cm^2 \cdot m^2$$

$$Inercia_{TOTAL} = 34\,091,0347\,cm^2 \cdot m^2$$

Una vez obtenidos los siguientes datos, se comprobará que se cumplen con los módulos mínimos exigidos, calculados en el apartado anterior:

$$Z_{Rmin\,SECCIÓN\,MAESTRA} = 12,23\,m^3$$

$$I_{YRMIN} = 3 \cdot Z_{min} \cdot L \cdot 10^{-2}$$

$$I_{YRMIN} = 3 \cdot 12,23 \cdot 168,88 \cdot 10^{-2} = 61,98\,m^4$$

Para la determinación de la inercia, se tendrán en cuenta los momentos de la cuaderna, trasladados por Steiner al eje neutro.

$$Y_G = \frac{Area \cdot Y_g}{Area} = \frac{130\,261,9}{30\,444,3} = 4,3\,m$$

La inercia por lo tanto será:

$$\frac{I}{2} = I_0 + A \cdot Y_G^2 - A \cdot d^2$$

$$I = 797\,cm^4$$

INERCIA	OFRECIDO	MÍNIMO	CONCLUSIÓN
	797 m <sup>4</sup>	61,98 m <sup>4</sup>	CUMPLE

A continuación, se calcularán los módulos resistentes para la cubierta y el fondo, asegurando así su cumplimiento.

$$Z_{fondo} = \frac{I_G}{Y_{fondo}} = \frac{797}{4,3} = 185,34\,m^3$$

$$Z_{cubierta} = \frac{I_G}{Y_{cubierta}} = \frac{797}{17,14 - 4,3} = 82,07\,m^3$$

MÓDULO	OFRECIDO	MÍNIMO	CONCLUSIÓN
--------	----------	--------	------------

Bulkcarrier portacontenedores 40 000 TPM / Cuaderno 8  
Marta González García

	185,34/82,07 m <sup>3</sup>	12,23 m <sup>3</sup>	CUMPLE
--	-----------------------------	----------------------	--------

### 13. TABLA RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se muestra a continuación una tabla resumen de los resultados obtenidos a lo largo de este cuaderno:

ZONA DEL BUQUE		CARACTERÍSTICAS	TIPO ACERO
<b>FONDO</b>	Chapa asociada	Espesor de 13 mm	Acero Naval A
	Quilla	Espesor de 17 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	240x11	Acero Naval A
<b>COSTADO</b>	Chapa asociada	Espesor de 11 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	220x10	Acero Naval A
<b>DOBLE FONDO</b>	Chapa asociada	Espesor de 12 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	200x10	Acero Naval A
<b>PANTOQUE</b>	Chapa asociada	Espesor de 12 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	240x11	Acero Naval A
<b>CUBIERTA</b>	Chapa asociada	Espesor de 12 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	220x10	Acero Naval A
<b>TOLVA SUPERIOR</b>	Chapa asociada	Espesor de 14 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	260x11	Acero Naval A
<b>TOLVA INFERIOR</b>	Chapa asociada	Espesor de 12 mm	Acero Naval A
	Refuerzos longitudinales	200x9	Acero Naval A

En cuanto a la cuaderna maestra, cumplirá los requerimientos mínimos, tal y como se observó en el apartado anterior.

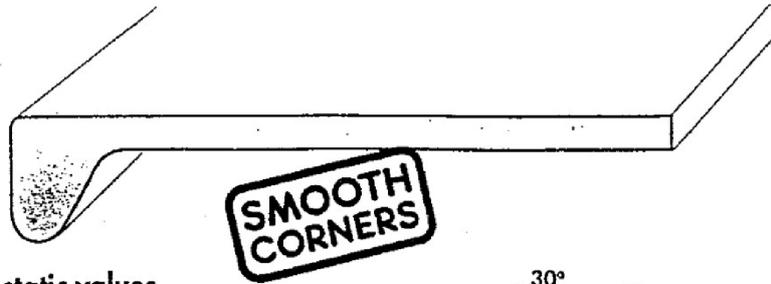
	OFRECIDO	MÍNIMO	CONCLUSIÓN
<b>INERCIA</b>	797 m <sup>4</sup>	61,98 m <sup>4</sup>	CUMPLE
<b>MÓDULO</b>	185,34/82,07 m <sup>3</sup>	12,23 m <sup>3</sup>	CUMPLE

Se adjunta como *Anexo II* el diseño de la cuaderna maestra del buque proyecto.

# ANEXO I

## Prontuario llanta bulbo

# Bulb Flats



## Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm <sup>2</sup>	Weight kg/m	e cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$W_x^*$ cm <sup>3</sup>
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	225
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	237
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	255
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	302
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	323
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	368
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	391
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	406
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2477	455
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	474
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	493
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	566
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3550	590
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	671
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	701
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	728
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	819
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	849
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	947
	14	49	15	65.5	51.5	21.1	7540	1014
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1210
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1278
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1580
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1666
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1935
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	2036

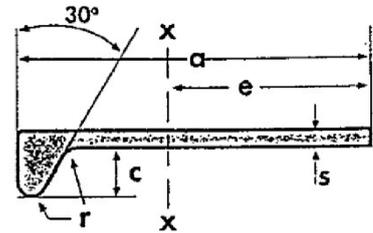


Plate cross sectional area 60 cm<sup>2</sup>

### Standard lengths

6-18 m.

Other lengths by special agreement

### Orders

must include the following measurements:  
a x s.

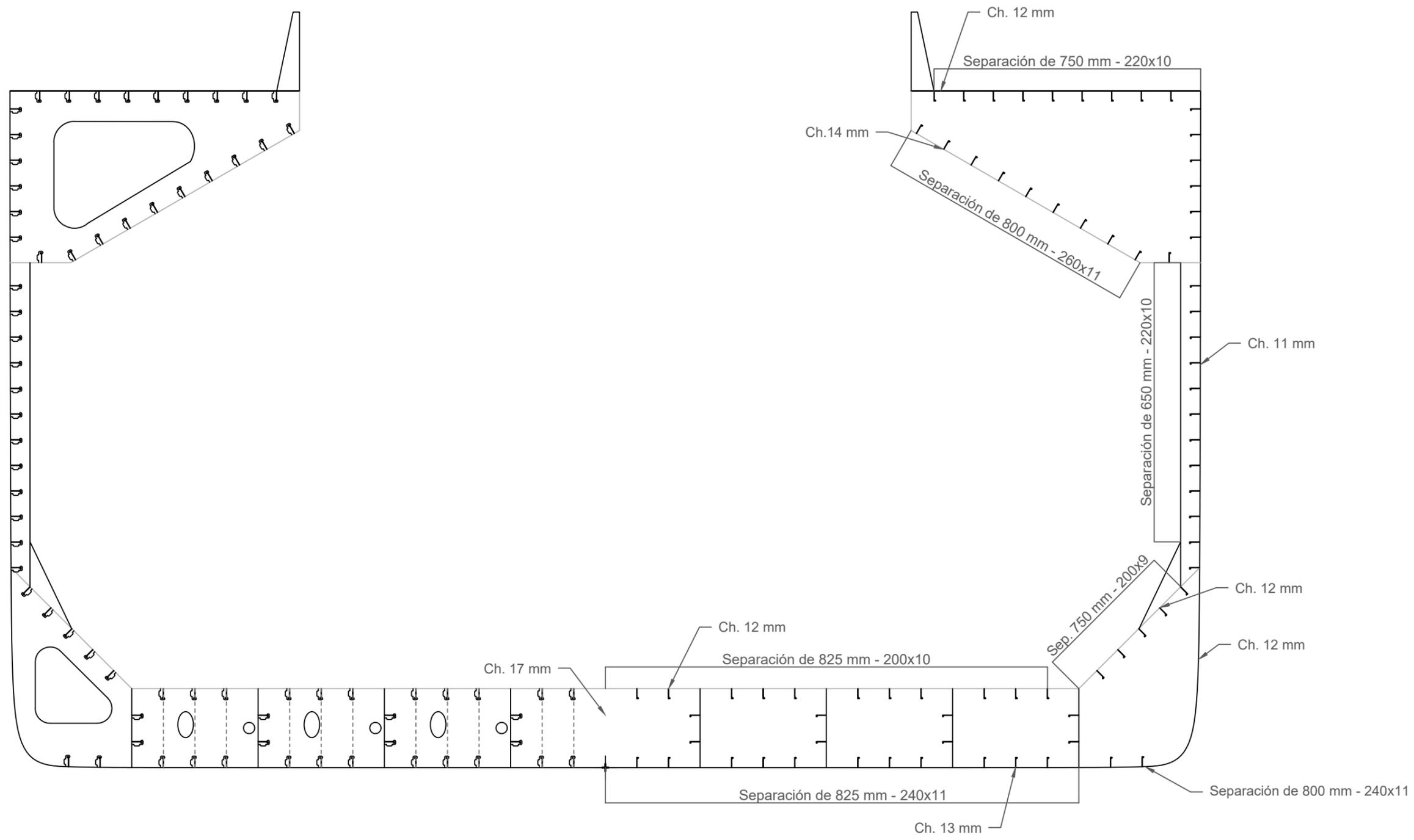
Plate cross sectional area 100 cm<sup>2</sup>

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

\* Inclusive plate as noted

# ANEXO II

## Cuaderna maestra



GRADO	INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA	ESCUELA:		UNIVERSIDAD:	
TFG	BULK CARRIER PORTACONTENEDORES 40 000 TPM				UNIVERSIDADE DA CORUÑA
DOCUMENTO	CUADERNO 8	ALUMNA	MARTA GONZÁLEZ GARCÍA		
ESCALA:	PLANO:	TUTOR	VICENTE DÍAZ CASÁS		
1:400	CUADERNA MAESTRA				