



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/18**

Remolcador de altura y salvamento

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica
Cuaderno 8
CUADERNA MAESTRA**



ALUMNO:

JOSE RÁBANO CARRETERO

TUTOR:

MARCOS MIGUEZ GONZÁLEZ

MARZO 2018

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

ANTEPROYECTO Y PROYECTO FIN DE CARRERA

CURSO 2017-2018

PROYECTO NÚMERO 18 – 19

TIPO DE BUQUE: REMOLCADOR DE ALTURA Y SALVAMENTO

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTO DE APLICACIÓN: Solas, Marpol, y reglamentación estándar. Lloyd's Register.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Buque remolcador de altura con sistema contra incendios y lucha contra la contaminación. 240 ton. De tracción a punto fijo.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos de velocidad de servicio. Autonomía de 9000 millas náuticas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA/DESCARGA: Gancho de remolque y chigre hidráulico de remolque.

PROPULSIÓN: Cuatro motores diésel. Cada pareja acciona un propulsor en popa con tobera de paso fijo. Hélice de proa.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 24 miembros de tripulación.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Sistema de lucha contra incendios. Sistema de lucha anti polución. Los correspondientes a este tipo de buques.

ALUMNO: D. Jose Rábano Carretero

Dimensiones principales	
Eslora total	76,2 m
Eslora entre pps	69,3 m
Manga	18 m
Puntal de trazado	8,21 m
Calado de trazado	6,61 m
Desplazamiento máximo	6468 t
Peso muerto	2397 t
Capacidades	
Heavy Fuel Oil (HFO)	1181,5 t
Agua lastre	1145,6 t
Recogida residuos (MUD)	1365,5 t
Espumógeno	43,8 t
Dispersante	30,2 t
Rendimientos	
Bollard pull (TPF)	240 t
Velocidad de servicio	16 kn

Maquinaria principal	
Motores principales	4x4500 kW
	Wärtsilä 9L34DF
Generadores	3x1380 kW
	Wärtsilä 9L20DF
Generador emergencia	1x400 kW
	CAT CG132-8
Propulsores principales	2x4300 mm
	FPP, 3 palas
Propulsión auxiliar	
Trhuster transv proa	1x1050 kW
Trhusters transv popa	2x1050 kW
Trhuster azimutal proa	1x880 kW
Acomodación	
Tripulación	24
Náufragos	29
Posicionamiento dinámico	
Cota	DP II

Tabla de contenido

1.-	Presentación.....	8
2.-	Elección del tipo de estructura.....	9
3.-	Dimensiones de escantillonado	11
	Calado de escantillonado	11
	Eslora de escantillonado	11
	Manga de escantillonado.....	13
	Puntal de escantillonado	13
	Coeficiente de bloque.....	13
4.-	Determinación de las cargas de diseño.....	14
	Cargas inducidas por olas	14
	Parámetros de ola	14
	Momentos flectores.....	14
	Momento flector por olas durante el arrufo.....	14
	Momento flector por olas durante el quebranto.....	14
	Fuerzas cortantes	14
	Presiones inducidas por aguas tranquilas	16
	Presiones inducidas en el costado y el fondo del buque en aguas tranquilas	16
	Presiones aplicadas a la cubierta expuesta	16
	Presiones aplicadas a las cubiertas del castillo.....	17
	Presiones inducidas por olas.....	17
	Presiones inducidas por olas en las cubiertas del buque	17
	Presiones inducidas por olas en el costado y el fondo del buque.....	18
	Módulo e inercia mínima de la sección maestra	18
	Módulo mínimo de la sección maestra.....	19
	Inercia mínima de la sección maestra.....	19
	Altura del eje neutro de la sección transversal	19
	Momento de inercia respecto al eje neutro	19
	Márgenes de corrosión.....	19
5.-	Cálculo de las presiones sobre la cuaderna maestra.....	20
	Chapa del fondo	20
	Presión externa inducida por aguas tranquilas.....	20
	Presión externa inducida por olas	20
	Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	20
	Presión interna inducida en tanques por test	21
	Chapa del costado	21

Presión externa inducida por aguas tranquilas.....	21
Presión externa inducida por olas	21
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	22
Presión interna inducida en tanques por test	22
Chapa del doble fondo	23
Presión externa inducida por aguas tranquilas.....	23
Presión externa inducida por olas	24
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	24
Presión interna inducida en tanques por test	25
Chapa del pantoque	26
Presión externa inducida por aguas tranquilas.....	26
Presión externa inducida por olas	26
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	26
Presión interna inducida en tanques por test	26
Chapa de la cubierta principal	27
Presión externa inducida por aguas tranquilas.....	27
Presión externa inducida por olas	27
Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas	27
Presión interna inducida en tanques por test	28
Chapa de las cubiertas de habilitación y puente de navegación.....	29
Chapa de la cubierta del castillo.....	29
6.- Escantillonado de chapas por requerimientos locales.....	30
Espesor del fondo	30
Quilla	30
Chapa del fondo	31
Espesor del costado.....	31
Chapa del costado bajo la cubierta de escantillonado.....	31
Chapa del costado sobre la cubierta de francobordo	32
Espesor del doble fondo.....	33
Chapa del doble fondo.....	33
Espesor del pantoque.....	34
Chapa del pantoque.....	34
Espesor de la cubierta principal.....	34
Chapa de la cubierta principal.....	34
Espesor de las cubiertas de habilitación y puente de gobierno.....	35
Chapa de las cubiertas de habilitación y puente de gobierno.....	35
Espesor de la cubierta de castillo	35

Chapa de la cubierta de castillo	35
Espesor de los mamparos longitudinales	36
Chapa de los mamparos longitudinales	36
Resumen de los espesores de chapa.....	36
7.- Dimensiones de los refuerzos primarios	38
Varengas.....	38
Vagras.....	38
Bulárcamas	38
Módulo (Z)	38
Inercia (I)	39
Área (A)	39
Longitudinales de cubierta.....	40
Módulo (Z)	40
Inercia (I)	41
Área (A)	41
Baos.....	42
Módulo (Z)	42
Inercia (I)	42
Área (A)	43
Puntales bajo cubierta.....	43
Área de la sección transversal	43
Espesor mínimo de la pared del tubo.....	45
Márgenes de corrosión de los refuerzos primarios	45
Resumen de los refuerzos primarios	46
8.- Dimensiones de los refuerzos secundarios.....	47
Refuerzos verticales en las varengas	47
Refuerzos longitudinales del costado	48
Zona debajo de la cubierta principal	48
Zona encima de la cubierta principal.....	48
Refuerzos longitudinales de la cubierta principal	49
Refuerzos longitudinales de la cubierta de castillo	49
Refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales.....	50
Zona debajo de la cubierta principal	50
Zona encima de la cubierta principal.....	50
Refuerzos verticales de los mamparos transversales	51
Resumen de los refuerzos secundarios.....	52
9.- Módulo resistente de la cuaderna maestra	53

Procedimiento para el cálculo del módulo resistente	53
Cálculo del módulo resistente.....	55
10.- Anexo I. Plano de la cuaderna maestra	59
11.- Anexo II. Espesores mínimos de chapa.....	60
12.- Anexo III. Perfiles utilizados.....	62

1.- PRESENTACIÓN

El *Cuaderno 8* consta del cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra. En primer lugar, se comienza con la elección del tipo de estructura a instalar en el buque en función del tipo de buque y de los trabajos para los que fue diseñado.

Para conocer el módulo resistente se comienza con la determinación de las dimensiones reglamentarias para dicho cálculo. Las dimensiones vienen especificadas por la sociedad de clasificación aplicable al buque proyecto que en este caso es la *Lloyd's Register of Shipping*.

Una vez determinadas las dimensiones de escantillonado reglamentarias se procede al cálculo de las diferentes cargas y presiones que se ejercen en los diversos lugares del buque, tales como los costados, las cubiertas o el fondo del buque. También se calcula el módulo resistente y la inercia mínima que ha de cumplir el buque en función de sus dimensiones, que vienen determinados por la sociedad de clasificación.

Conociendo las cargas y presiones aplicadas a cada zona del buque se definen las presiones máximas sobre cada una de las chapas a instalar en el buque para proceder al cálculo de su espesor. Estos cálculos se realizan con la formulación propuesta por la sociedad de clasificación.

A continuación, una vez determinadas las chapas a instalar y sus espesores se procede al cálculo de los refuerzos primarios a instalar en el buque. Estos refuerzos también dependen del tipo de estructura que se haya decidido instalar en un primer momento. Una vez dimensionados y seleccionados los refuerzos primarios se procede al cálculo de los refuerzos secundarios en función de los primarios seleccionados.

Los refuerzos, tanto los primarios como los secundarios, serán todos ellos vigas normalizadas de diferentes tipos y de los que se conocen todos sus datos.

Finalmente, con las chapas y los refuerzos dimensionados se calcula el módulo resistente de la cuaderna maestra. Para realizar este cálculo se crea la cuaderna maestra en función de la distribución de los tanques, los elementos primarios y los refuerzos a instalar. El módulo resistente calculado tiene que cumplir con los requerimientos mínimos impuestos por la sociedad de clasificación, por lo que en último lugar se realiza la comprobación de los momentos flectores de la cuaderna maestra.

2.- ELECCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA

La primera decisión a tomar en el diseño de la estructura del buque proyecto es elegir el tipo de estructura que instalará en el buque. Los diferentes tipos de estructuras a instalar pueden ser de tipo longitudinal o de tipo transversal. A continuación, se describen brevemente.

La estructura longitudinal consta de elementos para reforzar la estructura con elementos longitudinales, es decir, elementos de proa a popa, tales como esloras, longitudinales de fondo o de costado.

La estructura transversal consta de elementos estructurales en el sentido de la manga, como las bulárcamas, las varengas o los baos.

La estructura mixta es un tercer tipo de estructura que combina los tipos de estructuras longitudinales y transversales.

Para cada tipo y eslora de buque se requiere un tipo u otro de estructura. Los barcos con esloras superiores a los 200 metros requieren de unos criterios específicos de resistencia longitudinal, además de que con esloras tan grandes el peso del acero del buque puede ser menor si se elige una estructura longitudinal y por tanto reducir los costes de material.

Los buques con esloras pequeñas por debajo de los 65 metros no requieren criterios de resistencia longitudinal y teniendo en cuenta que la estructura longitudinal para buques con esloras no muy grandes requiere una instalación bastante compleja, puede resultar rentable la instalación de una estructura transversal.

Para los buques con esloras intermedias la elección del tipo de estructura depende del diseño y del uso del buque, teniendo en cuenta los criterios de resistencia estructural, el peso del acero, los costes del material de fabricación y la complejidad de la instalación.

Para determinar el tipo de estructura a instalar en el buque proyecto, así como la normativa aplicable a dicha estructura se toma como base la normativa existente en el *Lloyd's Register (LRS)* aplicable al buque proyecto. Al tratarse de un buque con una eslora mayor de 65 metros, se decide por instalar una estructura mixta para conseguir una resistencia longitudinal adecuada para un buque mayor de 65 metros y una resistencia transversal para mejorar las condiciones de remolque. En el apartado Part 3, Ch 4, se especifica que se han de realizar los cálculos de la resistencia longitudinal para buques mayores de 65 metros de eslora de reglamento.

Los elementos a instalar en la estructura del buque son los siguientes:

- FONDO: Se instalarán elementos longitudinales primarios, así como vagras situadas bajo los mamparos del doble casco para que el apoyo se realice sobre un refuerzo. También se instalarán elementos transversales como las varengas, para que las cuadernas se apoyen sobre ellas y no sobre una clara entre refuerzos.
- COSTADO: se instalarán tanto elementos estructurales longitudinales como transversales. Los longitudinales serán palmejares y longitudinales de costado mientras que las transversales serán las bulárcamas situadas cada 4 cuadernas y coincidentes con los mamparos transversales del buque.

- CUBIERTA: se instalarán elementos longitudinales y transversales continuos con los refuerzos del costado para una resistencia adecuada a las condiciones de trabajo necesarias en este tipo de buques.

A continuación, se definen las secciones a escantillonar según las necesidades de cada zona del buque.

Para este buque las secciones en las que se dividirá en buque serán la sección de popa en la que se sitúa la cubierta de trabajo con los equipos necesarios para las distintas tareas, y la sección de proa donde se sitúa la superestructura del castillo que soportará el peso de la habilitación.

El compartimentado del buque definido en el *Cuaderno 4* establece la separación tanto de las cuadernas en los piques de proa y popa y en el resto del buque. En el pique de popa se tiene una separación de cuadernas de 600 mm, en el pique de proa serán de 550 mm, mientras que en el resto del buque habrá una separación de 700 mm. Las bulárcamas se sitúan cada 4 cuadernas por lo que la separación entre ellas dependerá de la zona donde se encuentre.

Se toma como la sección de la Cuaderna Maestra la correspondiente a la cuaderna 60 coincidente con la bulárcama 15 con una posición longitudinal de 36,535 metros respecto a la perpendicular de popa.

Para el cálculo de la estructura se hará referencia a la Sociedad de Clasificación del buque proyecto *Lloyd's Register* en sus apartados *Part 3 Ch 3 y 4 diseño de la estructura y resistencia longitudinal* respectivamente y también al apartado *Part 4 Ch 3 Remolcadores*.

3.- DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

Para comenzar, se definen las diferentes dimensiones reglamentarias definidas en el *Lloyd's Register Part 3 Ch 3 Sc 2* para realizar el escantillonado del buque.

Calado de escantillonado

El calado definido para el escantillonado será el calado al francobordo de verano, ya que es el calado máximo al que puede navegar el buque por reglamento. Sin embargo, se tomará el calado máximo de las condiciones de carga presentadas en el *Cuaderno 5* al cual se le añadirá un margen de seguridad por si hubiera algún error en los cálculos o por si el buque sufriera alguna avería.

Se muestra a continuación, una tabla resumen de las condiciones de carga del *Cuaderno 5*.

		Δ (t)	T (m)
CC 1	Salida de puerto	5521	6,24
CC 2	Llegada a puerto a plena carga	5686	6,284
CC 3	Salida de puerto en lastre	5009	5,815
CC 4	Llegada a puerto en lastre	4530	5,387
CC 5	Peores condiciones	5267	5,912
CC 6	Salida de puerto a plena carga	6528	6,997

Tabla 3-1

El calado máximo se presenta en la condición de carga 6 a la cual se le añadirá un margen de seguridad de 203 mm y obtener así un valor redondo.

$$T_{esc} = 7200 \text{ mm}$$

Con este calado en el programa *Maxsurf Stability* se calculan las hidrostáticas del buque.

Eslora de escantillonado

La eslora de escantillonado es la distancia, en metros, medida en la línea de agua del 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 como es el caso. Dicha eslora no puede ser menor que el 96% ni puede superar el 97% de la eslora de flotación en el calado de escantillonado.

Las hidrostáticas para el calado de escantillonado se presentan en la siguiente tabla.

Displacement t	6652
Heel deg	0
Draft at FP m	7,2
Draft at AP m	7,2
Draft at LCF m	7,2
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	72,868
Beam max extents on WL m	17,998
Wetted Area m²	1871,527
Waterpl. Area m²	1159,751
Prismatic coeff. (Cp)	0,696
Block coeff. (Cb)	0,687
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,988
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,884
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	32,779
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	29,107
KB m	4,036
KG m	6,61
BMt m	4,377
BML m	65,737
GMt m	1,804
GML m	63,163
KMt m	8,414
KML m	69,773
Immersion (TPc) tonne/cm	11,887
MTc tonne.m	60,627
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	209,381
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Tabla 3-2

$$L_{pp} (T = 7200mm) = 69,95 m$$

$$L_{wl} (T = 7200mm) = 72,87 m$$

$$96\%L_{wl} = 69,95 m$$

$$97\%L_{wl} = 70,68 m$$

La eslora de escantillonado será, por tanto:

$$L_{ESC} = 69,95 metros$$

Manga de escantillonado

Será la manga máxima del buque medida en la flotación de verano.

$$B_{ESC} = 18 \text{ metros}$$

Puntal de escantillonado

Se define como la distancia vertical desde la línea de base hasta la cubierta continua más alta, medida en el centro del buque. Para este buque proyecto, la cubierta continua más alta es la cubierta principal.

$$D_{ESC} = 8,23 \text{ metros}$$

Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque se obtiene con las dimensiones obtenidas en los apartados anteriores, utilizando como valor del desplazamiento el obtenido en las hidrostáticas para en calado de escantillonado ($T = 7200 \text{ mm}$).

$$Cb = \frac{\Delta}{1,025 * L_{ESC} * B_{ESC} * T_{ESC}}$$
$$Cb = \frac{6652}{1,025 * 69,95 * 18 * 7,2} = 0,716$$

4.- DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO

La determinación de las cargas de diseño a aplicar en el buque proyecto se calculan a partir del reglamento *Lloyd's Register* en su apartado *Part 3, Ch 4 Resistencia Longitudinal*, y en el apartado *Part 3, Ch 11*.

Cargas inducidas por olas

Parámetros de ola

El parámetro de ola para buques con una eslora menor de 100 metros se define como:

$$C_W = 0,0792L_{ESC} = 0,0792 * 69,95 = 5,54$$

Momentos flectores

Las cargas debidas por olas en las condiciones de arrufo y quebranto se definen en el apartado *Part 3 Ch 4 Sc 5 resistencia longitudinal*, la cual define los momentos flectores máximos.

$$M = f_1 f_2 M_{wo}$$

$$f_1 = 1$$

Se pueden tomar valores entre 0,5 y 1. Se elige el valor 1 para calcular el momento flector máximo.

$$f_2(\text{arrufo}) = -1,1$$

$$f_2(\text{quebranto}) = \frac{1,9Cb}{Cb + 0,7} = \frac{1,9 * 0,716}{0,716 + 0,7} = 0,96$$

$$M_{wo} = 0,1C_1C_2L^2B(Cb + 0,7)$$

Siendo:

$$C_1(L < 90m) = 0,0412L + 4,0 = 0,0412 * 69,95 + 4 = 6,882$$

El valor de C_2 depende de la situación longitudinal dentro del buque, tomando el valor 0 en los extremos de proa y popa y tomando en valor 1 entre 0,4L y 0,65L. Los valores intermedios se hallan por interpolación lineal. Para calcular el valor máximo del momento flector se toma el valor 1 para toda la longitud de la eslora.

$$C_2 = 1$$

$$M_{wo} = 0,1 * 6,882 * 69,96^2 * 18(0,716 + 0,7) = 85826,63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento flector por olas durante el arrufo

$$M_s = 1 * (-1,1) * 85826,63 = 94409,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento flector por olas durante el quebranto

$$M_H = 1 * 0,96 * 85826,63 = 82456,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Fuerzas cortantes

Se realiza el cálculo de las fuerzas cortantes tanto positivas como negativas a partir del apartado *Part 3 Ch 4 Sc 6* del reglamento del *Lloyd's Register*.

$$Q_w = K_1 K_2 Q_{wo} [kN]$$

$$Q_{wo} = 0,3 C_1 L B (C_b + 0,7) = 3680,9 \text{ kN}$$

$$C_1 = 6,882$$

$$K_2 = 1,0$$

El valor de K_1 se obtiene con la siguiente gráfica.

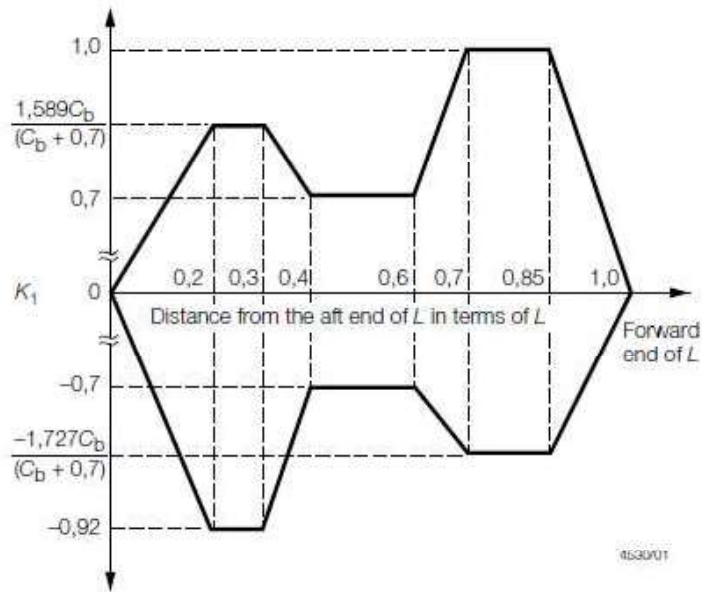


Figure 4.6.1 Shear force factor K_1

Figura 4.1

Se muestra una tabla con los cálculos de las fuerzas cortantes tanto positivas como negativas en función de la posición longitudinal de cada sección.

Sección (m)	K1 (+)	Qw (+)	K1 (-)	Qw (-)
-3,465	0,000	0,00	0,000	0,00
0	0,000	0,00	0,000	0,00
4	0,201	738,95	-0,230	-846,62
8	0,402	1477,90	-0,460	-1693,23
12	0,602	2216,85	-0,690	-2539,85
16	0,803	2955,80	-0,920	-3386,47
20	0,803	2955,80	-0,920	-3386,47
24	0,752	2766,23	-0,810	-2981,57
28	0,700	2576,66	-0,700	-2576,66
32	0,700	2576,66	-0,700	-2576,66
36	0,700	2576,66	-0,700	-2576,66
40	0,700	2576,66	-0,700	-2576,66
44	0,800	2944,76	-0,758	-2788,93

48	0,900	3312,85	-0,815	-3001,20
52	1,000	3680,95	-0,873	-3213,47
56	1,000	3680,95	-0,873	-3213,47
60	1,000	3680,95	-0,873	-3213,47
64	0,666	2451,51	-0,582	-2142,31
68	0,333	1225,75	-0,291	-1071,16
69,95	0,000	0,00	0,000	0,00

Tabla 4-1

Presiones inducidas por aguas tranquilas

Presiones inducidas en el costado y el fondo del buque en aguas tranquilas

El reglamento del *Lloyd's Register* especifica la presión a la que están sometidas las planchas del forro exterior. Se tienen en cuenta las presiones hidrostáticas y las hidrodinámicas. El valor máximo de esta presión se encuentra en la obra viva siendo su valor igual a la suma de la presión hidrostática (P_h) y la presión por olas (P_w).

$$P_h = \rho * g(T - (z - zk))$$

T = calado de escantillonado (m) = 7,2 m

Z = altura de la plancha

Z₁ = altura de la plancha del fondo = 0 m

Z₂ = altura de la plancha del costado = 1 m

Zk = altura de la quilla = 0

ρ = densidad del agua marina = 1,025 kg/m³

g = gravedad = 9,81 m/s²

$$P_{h1} = 1,025 * 9,81(7,2 - 0) = 72,4 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{h2} = 1,025 * 9,81(7,2 - 1) = 62,3 \frac{kN}{m^2}$$

Presiones aplicadas a la cubierta expuesta

El valor mínimo de la presión aplicada sobre la cubierta expuesta dada por el reglamento es de:

$$P_{deck} = 10 * \varphi_1 * \varphi_2$$

Dónde:

$$\varphi_1 = 1$$

$$\varphi_2 = \frac{L}{120} \text{ para buques con } L < 120m$$

$$P_{deck} = 10 * 1 * \frac{69,95}{120} = 5,83 \frac{kN}{m^2}$$

Presiones aplicadas a las cubiertas del castillo

Para las cubiertas de acomodación, las presiones aplicadas se calculan mediante las presiones mínimas admisibles de la tabla 11.2.2 del reglamento del *Lloyd's Register*.

Table 11.2.2 Minimum design load, p_{Amin}

L	p_{Amin} , kN/m ²	
	For unprotected fronts	Elsewhere
≤ 50	30	15
> 50	$25 + \frac{L}{10}$	$12,5 + \frac{L}{20}$
< 250		
≥ 250	50	25

Las presiones mínimas para las cubiertas de acomodación serán:

$$P_{min\ expuesta} = 25 + \frac{69,95}{10} = 31,99 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{min\ protegida} = 12,5 + \frac{69,95}{20} = 15,99 \text{ kN/m}^2$$

Presiones inducidas por olas

Presiones inducidas por olas en las cubiertas del buque

Según el reglamento, las presiones inducidas por olas en las cubiertas para buques con una eslora entre 24 y 100 metros, se determina según la tabla mostrada a continuación.

Dónde:

$$E = \frac{0,0914 + 0,003L}{D - T} - 0,15 = \frac{0,0914 + 0,003 * 69,95}{8,23 - 7,2} - 0,15 = 0,142$$

Por tanto, el valor máximo de la presión inducida por olas en las cubiertas del buque es:

Table 3.5.1 Design heads and permissible cargo loadings

Structural item and position	Component	Standard stowage rate C, in m ³ /tonne	Design loading p, in kN/m ²	Equivalent design head h ₁ in metres	Permissible cargo loading in kN/m ²	Equivalent permissible head, in metres
<i>Design heads and permissible cargo loadings (SI units)</i>						
Weather deck (general cargo)				h ₁		
(a) Loading for minimum scantlings						
Forward of 0,075L from F.P.	Beams and longitudinals	1,39	12,73	1,8	8,5	1,2
	Primary structure		29,64 + 14,41E	4,2 + 2,04E		
Between 0,12L and 0,075L from F.P.	Beams and longitudinals	1,39	10,61	1,5	8,5	1,2
	Primary structure		22,59 + 14,41E	3,2 + 2,04E		
Aft of 0,12L from F.P.	Beams and longitudinals	1,39	8,5 + 14,41E	1,2 + 2,04E	8,5	1,2
	Primary structure					

$$P_w \max = 29,64 + 14,41E = 29,64 + 14,41 * 0,142 = 31,69 \text{ kN/m}^2$$

$$P_w \text{ cubierta expuesta} = 31,69 \text{ kN/m}^2$$

Presiones inducidas por olas en el costado y el fondo del buque

Para las zonas por debajo del calado de escantillado, la presión inducida por olas se calcula mediante la fórmula:

$$\rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}}$$

Para las zonas por encima del calado de escantillado y por debajo de la primera cubierta expuesta, el valor de la presión inducida por olas se calcula con la fórmula:

$$\rho \cdot g \cdot (T + h_1 - z) > 0,15L$$

El valor de h₁ se obtiene a partir de la fórmula:

$$h_1 = 0,42 \cdot C_1(Cb + 0,7) = 0,42 \cdot 6,882(0,716 + 0,7) = 4,09$$

El valor de C₁ se ha calculado anteriormente en el apartado *Momentos flectores*.

Con estos datos se pueden calcular las presiones en el fondo (z=0 m) y el costado del buque (z=1 m), así como en la cubierta expuesta.

$$P_{Wfondo} = 1,025 * 9,81 * 4,09 * e^{\frac{-2\pi(7,2-0)}{69,95}} = 21,55 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{Wcostado} = 1,025 * 9,81 * (7,2 + 4,09 - 1) = 103,5 \text{ kN/m}^2$$

Módulo e inercia mínima de la sección maestra

El módulo mínimo que se le exige a la sección maestra y su inercia mínima se indica en el apartado del reglamento *Minimum hull sections modulus (Part 3, Ch 4, Sc 5.4)*.

Módulo mínimo de la sección maestra

Este valor se obtiene mediante la fórmula:

$$Z_{min} = f_1 k_L C_1 L^2 B (Cb + 0,7) \cdot 10^{-6} [m^3]$$

Table 8.16.2 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	One side corrosion addition t_c or t_{c2} in mm
Exposed to sea water	1,0
Exposed to atmosphere	1,0
Ballast water tank	1,0
Void and dry spaces	0,5
Fresh water, fuel oil and lube oil tank	0,5
Accommodation spaces	0,0

Los valores de f_1 y k_L se consideran como la unidad, mientras que el valor de C_1 está calculado en apartados anteriores.

$$Z_{min} = 1 * 6,882 * 69,95^2 * 18(0,716 + 0,7)10^{-6} = 0,858 m^3$$

Inercia mínima de la sección maestra

La inercia mínima se obtiene a partir de la fórmula:

$$I_{min} = 3 \cdot C_1 \cdot L^3 \cdot B (Cb + 0,7) \cdot 10^{-8} = 1,801 m^4$$

Altura del eje neutro de la sección transversal

Se puede aproximar la altura del eje neutro en la mitad del puntal de la sección maestra.

$$N = \frac{8,23}{2} = 4,115 m$$

Momento de inercia respecto al eje neutro

Es el momento de inercia de la sección transversal respecto a una primera aproximación del eje neutro.

$$I_y = 2 \cdot N \cdot Z_{min} = 2 * 4,115 * 0,858 = 7,064 m^4$$

Márgenes de corrosión

La adición de los márgenes de corrosión según el reglamento se especifica en la tabla 8.16.2 que se presenta a continuación.

5.- CÁLCULO DE LAS PRESIONES SOBRE LA CUADERNA MAESTRA.

Una vez conocidas las cargas aplicables a cada parte de la estructura del buque, se procede al cálculo de las presiones sobre cada una de estas partes. Para ello se utilizan los valores y parámetros hallados en el apartado anterior.

Los elementos estructurales sobre los que se va a realizar el estudio de las presiones son:

- Chapa del fondo.
- Chapa del doble fondo.
- Chapa del costado.
- Chapa del doble casco.
- Chapa del pantoque.
- Chapa de las diferentes cubiertas.

Las presiones que afectan a los elementos mencionados son:

- Presiones externas inducidas por aguas tranquilas.
- Presiones externas inducidas por olas.
- Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.
- Presiones internas inducidas en tanques por test.

Chapa del fondo

Presión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = \rho \cdot g(T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,2 - 0) = 72,4 \text{ kN/m}^2$$

Presión externa inducida por olas

$$P_{W \text{ fondo}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 4,09 \cdot e^{\frac{-2\pi(7,2-0)}{69,95}} = 21,55 \text{ kN/m}^2$$

Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas

En la chapa del fondo esta presión distribuye en peso de todos los tanques sobre esta chapa. La situación más desfavorable será cuando los tanques se encuentren completamente llenos.

La presión interna en tanques será la mayor de las calculadas a continuación.

$$P_s = \rho_L \cdot g(z_L - z)$$

$$P_s = \rho_L \cdot g(Z_{top} - z) + 100P_{pv}$$

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

- | | |
|---|--------------------------------|
| - L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m | $L_1 = 13,5 \text{ m}$ |
| - ρ_L : Densidad de los tanques de lastre | $\rho_L = 1,025 \text{ t/m}^3$ |
| - z_L : Altura del punto más alto del líquido | $z_L = 4,965 \text{ m}$ |

$$z_L = Z_{top} + 0,5(Z_{ap} - Z_{top})$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 8,23+0,7=8,93\text{m}$
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 1,00\text{ m}$
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7\text{ bar}$

$$P_s = 1,025 * 9,81(4,965 - 0) = 49,92\text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 1,025 * 9,81(1 - 0) + 100 * 0,7 = 80,05\text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 1,025 * \frac{9,81(0,8 * 13,5)}{420 - 13,5} = 0,30\text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 80,05 kN/m².

Presión interna inducida en tanques por test

La presión interna inducida en tanques se calcula mediante dos test con sus respectivas fórmulas.

$$P_{st} = 10 \cdot [(Z_{top} - z) + d_{AP}]$$

$$P_{st} = 10 \cdot (z_{ml} - z)$$

Se elige la presión máxima de los dos test calculados.

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 1\text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 0\text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154\text{m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}=8,23-1+0,75=7,98\text{m}$

$$P_{st} = 10[(1 - 0) + 7,98] = 89,8\text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 0) = 81,54\text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 89,8 kN/m².

p externa aguas tranquilas	72,40	kN/m ²
p externa olas	21,55	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	80,05	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	89,80	kN/m ²

Tabla 5-1

Chapa del costado

Presión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = 1,025 * 9,81 * (7,2 - 1) = 62,34\text{ kN/m}^2$$

Presión externa inducida por olas

$$P_{W\text{ costado}} = 1,025 * 9,81 * (7,2 + 4,09 - 1) = 103,5\text{ kN/m}^2$$

Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas*Tanques de recogida de residuos MUD*

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 13,5$ m
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,944$ t/m³
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 4,965$ m

$$z_L = Z_t + 0,5(Z_{ap} - Z_t) = 4,465 \text{ m}$$

- Z_t : Altura de la cubierta expuesta $Z_t = 8,23$ m
- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 0,7$ m
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 1,00$ m
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7$ bar

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (4,465 - 1) = 32,09 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (1 - 1) + 100 * 0,7 = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 70 kN/m².

Tanques de combustible

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 15,3$ m
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,92$ t/m³
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 4,965$ m

$$z_L = Z_t + 0,5(Z_{ap} - Z_t) = 4,465 \text{ m}$$

- Z_t : Altura de la cubierta expuesta $Z_t = 8,23$ m
- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 0,7$ m
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 1,00$ m
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7$ bar

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (4,465 - 1) = 31,27 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (1 - 1) + 100 * 0,7 = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 70 kN/m².

Presión interna inducida en tanques por test

La presión interna inducida en tanques se calcula mediante dos test con sus respectivas fórmulas.

$$P_{st} = 10 \cdot [(Z_{top} - z) + d_{AP}]$$

$$P_{st} = 10 \cdot (z_{ml} - z)$$

Se elige la presión máxima de los dos test calculados.

Tanques de recogida de residuos MUD

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 1 \text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154\text{m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}= 0,75 \text{ m}$

$$P_{st} = 10[(1 - 0) + 0,75] = 79,8 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 1) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 79,8 kN/m².

Tanques de combustible

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 1 \text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154\text{m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}= 0,75 \text{ m}$

$$P_{st} = 10[(1 - 0) + 0,75] = 79,8 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 1) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 79,8 kN/m².

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 5-2

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 5-3

Chapa del doble fondo*Presión externa inducida por aguas tranquilas*

No existe ninguna presión inducida por aguas tranquilas.

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

Presión externa inducida por olas

No existe ninguna presión inducida por olas

$$P_W \text{ doble fondo} = 0 \text{ kN/m}^2$$

Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas

En la chapa del doble fondo se disponen los tanques de recogida de residuos MUD y los tanques de combustible. La situación más desfavorable se produce cuando los tanques de lastre del doble fondo están llenos.

Tanques de recogida de residuos MUD

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 13,5 \text{ m}$
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,944 \text{ t/m}^3$
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 8,58 \text{ m}$

$$z_L = Z_{top} + 0,5(Z_{ap} - Z_{top}) = 8,58 \text{ m}$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 8,23+0,7=8,93 \text{ m}$
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7 \text{ bar}$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (8,58 - 1) = 70,19 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (8,23 - 1) + 100 * 0,7 = 136,95 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 136,95 kN/m².

Tanques de combustible

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 15,3 \text{ m}$
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,92 \text{ t/m}^3$
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 8,58 \text{ m}$

$$z_L = Z_t + 0,5(Z_{ap} - Z_t) = 8,58 \text{ m}$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 8,23+0,7=8,93 \text{ m}$
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7 \text{ bar}$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (8,58 - 1) = 68,41 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (8,23 - 1) + 100 * 0,7 = 135,25 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 135,25 kN/m².

Presión interna inducida en tanques por test

La presión interna inducida en tanques se calcula mediante dos test con sus respectivas fórmulas.

$$P_{st} = 10 \cdot [(Z_{top} - z) + d_{AP}]$$

$$P_{st} = 10 \cdot (z_{ml} - z)$$

Se elige la presión máxima de los dos test calculados.

Tanques de recogida de residuos MUD

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 1 \text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml} = 8,23 - 0,076 = 8,154 \text{ m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap} = 8,23 - 1 + 0,75 = 7,98 \text{ m}$

$$P_{st} = 10[(8,23 - 1) + 7,98] = 152,1 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 1) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 152,1 kN/m².

Tanques de combustible

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 1 \text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml} = 8,23 - 0,076 = 8,154 \text{ m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap} = 8,23 - 1 + 0,75 = 7,98 \text{ m}$

$$P_{st} = 10[(8,23 - 1) + 7,98] = 152,1 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 1) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 152,1 kN/m².

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	0	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,10	kN/m ²

Tabla 5-4

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	0	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	135,25	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,10	kN/m ²

Tabla 5-5

Chapa del pantoquePresión externa inducida por aguas tranquilas

$$P_s = 1,025 * 9,81 * (7,2 - 1) = 62,34 \text{ kN/m}^2$$

Presión externa inducida por olas

$$P_{W \text{ pantoque}} = 1,025 * 9,81 * 4,09 * e^{\frac{-2\pi(7,2-0)}{69,95}} = 21,55 \text{ kN/m}^2$$

Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas

En la chapa del pantoque se extienden los tanques de lastre. La situación más desfavorable será cuando estos se encuentren llenos.

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 9,5 \text{ m}$
- ρ_L : Densidad de los tanques de lastre $\rho_L = 1,025 \text{ t/m}^3$
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 1,1 \text{ m}$

$$z_L = Z_{top} + 0,5(Z_{ap} - Z_{top})$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 0,7 \text{ m}$
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 1,00 \text{ m}$
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7 \text{ bar}$

$$P_s = 1,025 * 9,81(1,1 - 0) = 1,005 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 1,025 * 9,81(1 - 0) + 100 * 0,7 = 75,02 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 1,025 * \frac{9,81(0,8 * 9,5)}{420 - 9,5} = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 75,02 kN/m².

Presión interna inducida en tanques por test

La presión interna inducida en tanques se calcula mediante dos test con sus respectivas fórmulas.

$$P_{st} = 10 \cdot [(Z_{top} - z) + d_{AP}]$$

$$P_{st} = 10 \cdot (z_{ml} - z)$$

Se elige la presión máxima de los dos test calculados.

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 1 \text{ m}$
- z : altura base del tanque. $z = 0 \text{ m}$
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154 \text{ m}$
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}=8,23+0,7=8,93 \text{ m}$

$$P_{st} = 10[(1 - 0) + 8,93] = 99,3 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 0) = 81,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 99,3 kN/m².

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	21,55	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	75,02	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	99,30	kN/m ²

Tabla 5-6

Chapa de la cubierta principal

Presión externa inducida por aguas tranquilas

La presión inducida por aguas tranquilas de la cubierta principal fue calculada en el apartado 4.2 *Presiones aplicadas a la cubierta principal*. El valor de esta presión es de:

$$P_s = 5,83 \text{ kN/m}^2$$

Presión externa inducida por olas

La presión externa inducida por olas en la cubierta principal se ha calculado en el apartado 4.3.

$$P_{W \text{ deck}} = 31,69 \text{ kN/m}^2$$

Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas

Bajo la cubierta principal se disponen los tanques de recogida de residuos MUD y los tanques de combustible. La situación más desfavorable se produce cuando los tanques están llenos.

Tanques de recogida de residuos MUD

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 13,5 \text{ m}$
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,944 \text{ t/m}^3$
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 8,58 \text{ m}$

$$z_L = Z_{top} + 0,5(Z_{ap} - Z_{top}) = 8,58 \text{ m}$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 8,23 + 0,7 = 8,93 \text{ m}$
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 8,23 \text{ m}$
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7 \text{ bar}$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (8,58 - 1) = 70,19 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * (8,23 - 1) + 100 * 0,7 = 136,95 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,944 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 136,95 kN/m².

Tanques de combustible

- L_1 : Eslora del mamparo no superior a 200m $L_1 = 15,3 \text{ m}$
- ρ_L : Densidad del combustible $\rho_L = 0,92 \text{ t/m}^3$
- z_L : Altura del punto más alto del líquido $z_L = 8,58 \text{ m}$

$$z_L = Z_t + 0,5(Z_{ap} - Z_t) = 8,58 \text{ m}$$

- Z_{ap} : Altura parte superior tubo de aireación $Z_{ap} = 8,23+0,7=8,93$
m
- Z_{top} : Altura del punto más alto del tanque $Z_{top} = 8,23$ m
- P_{pv} : Presión de ajuste de las válvulas de seguridad $P_{pv} = 0,7$ bar

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (8,58 - 1) = 68,41 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * (8,23 - 1) + 100 * 0,7 = 135,25 \text{ kN/m}^2$$

$$P_s = 0,92 * 9,81 * \frac{0,8 - 13,5}{420 - 13,5} = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 135,25 kN/m².

Presión interna inducida en tanques por test

La presión interna inducida en tanques se calcula mediante dos test con sus respectivas fórmulas.

$$P_{st} = 10 \cdot [(Z_{top} - z) + d_{AP}]$$

$$P_{st} = 10 \cdot (z_{ml} - z)$$

Se elige la presión máxima de los dos test calculados.

Tanques de recogida de residuos MUD

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23$ m
- z : altura base del tanque. $z = 1$ m
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154$ m
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}=8,23-1+ 0,75= 7,98$ m

$$P_{st} = 10[(8,23 - 1) + 7,98] = 152,1 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 1) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 152,1 kN/m².

Tanques de combustible

- Z_{top} : altura más alta del tanque. $Z_{top} = 8,23$ m
- z : altura base del tanque. $z = 1$ m
- z_{ml} : es la altura de la línea de margen. La línea de margen se sitúa al menos a 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo. $z_{ml}=8,23-0,076=8,154$ m
- d_{ap} : es la distancia desde el tubo de aireación hasta el techo del compartimento. $d_{ap}=8,23-1+ 0,75= 7,98$ m

$$P_{st} = 10[(8,23 - 1) + 7,98] = 152,1 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{st} = 10(8,154 - 0) = 71,54 \text{ kN/m}^2$$

La presión más alta es de 152,1 kN/m².

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 5-7

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	135,25	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 5-8

Chapa de las cubiertas de habitación y puente de navegación

Las cubiertas de la habitación soportan el peso del mobiliario, así como del hospital, la cocina o los vestuarios. La carga en cubierta para estos espacios fue calculada en el apartado 4.2 *Presiones aplicadas a las cubiertas del castillo*. En este apartado se especifica el valor de la presión para las cubiertas de habitación protegidas de la intemperie.

$$P_{\min\text{protegida}} = 15,99 \text{ kN/m}^2$$

Chapa de la cubierta del castillo

Las presiones inducidas en las cubiertas expuestas del castillo se han calculado en el apartado 4.2 *Presiones aplicadas a las cubiertas del castillo*. Las cubiertas expuestas han de soportar el peso de ciertos winches y poleas de remolque situados en la proa, cierres estancos, escaleras y deberán soportar las presiones de las olas. La presión mínima requerida es de:

$$P_{\min\text{expuesta}} = 31,99 \text{ kN/m}^2$$

6.- ESCANTILLONADO DE CHAPAS POR REQUERIMIENTOS LOCALES

El escantillonado de las chapas se realiza a través del reglamento en su apartado *Part 6, Ch 3, Determinación del escantillonado*. Se realiza a partir de las presiones calculadas en el *Capítulo 5* del presente cuaderno y se utilizan las fórmulas presenten en dicho apartado del *Lloyd's Register*.

El cálculo del espesor mínimo de cada chapa se realiza a través de las fórmulas expuestas en el reglamento y para los elementos que tengan requerimientos de resistencia longitudinal cumplirán con las especificaciones definidas en el *Lloyd's Register*. Los espesores mínimos de cada chapa según el reglamento se muestran en el *Anexo II*.

Los espesores de las chapas se redondearán al alza en cada caso para normalizar los espesores a instalar en el buque.

Los parámetros iniciales para iniciar el cálculo de los espesores de chapa son:

- S: separación de cuadernas.
 - S (proa) = 550 mm
 - S (popa) = 600 mm
 - S (resto del buque) = 700 mm
- Y: factor de corrección por curvatura.
 - Y = 0,8925 sin curvatura
 - Y = 1 en la curvatura del pantoque
- B: relación de aspecto de las planchas. $B = s(\text{corto})/l(\text{largo})$
- Φ_z : coeficiente de módulo. $\Phi_z = 1/12$
- Φ_I : coeficiente de inercia $\Phi_I = 1/384$
- Φ_A : coeficiente de área $\Phi_A = 1/2$
- P_{\max} : presión de diseño máxima de cada chapa.
- L_e : longitud efectiva del refuerzo.
- f_σ : coeficiente de tensión límite $f_\sigma = 1000$
- f_τ : coeficiente de deformación límite. $f_\tau = 0,65$
- σ_s : límite elástico del acero. $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$
- E: módulo de elasticidad del acero. $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Para obtener la relación de aspecto de las planchas siempre se toma el valor de la separación de cuadernas que maximice dicha relación de aspecto con el objetivo de obtener el valor más alto de espesor de planchas. Por tanto, dicho valor dependerá de la separación entre los refuerzos en cada caso.

Espesor del fondo

Para el fondo se diferenciará el espesor de la quilla y el espesor de la chapa del fondo del buque con requerimientos de resistencia longitudinal.

Quilla

$$t_k = \sqrt{k_s} \cdot 1,35L_R^{0,45}$$

$$- k_s = \frac{235}{\sigma_s} = \frac{235}{355} = 0,662$$

- $\sigma_s = 355 \frac{N}{mm^2}$
- $L_R = 69,95 m$

$$t_k = \sqrt{0,662} * 1,35 * 69,95^{0,45} = 7,42 mm$$

Espesor de chapa de la quilla = 8 mm

Chapa del fondo

Para el cálculo de todas las chapas calculadas a partir de ahora se utiliza la siguiente fórmula:

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [mm]$$

Para la chapa del fondo se tienen los siguientes datos.

p externa aguas tranquilas	72,40	kN/m2
p externa olas	21,55	kN/m2
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	80,06	kN/m2
p interna inducida en tanques por test	89,80	kN/m2

Tabla 6-1

- S (separación entre refuerzos) = 700 mm
- L (separación entre cuadernas) = 700 mm
- Y = 0,8925
- B = s/l = 700/700 = 1
- P_{max} = 89,8 kN/m²
- f_σ = 0,75
- σ_s = 355 N/mm²

$$t_p = 22,4 * 700 * 0,8925 * 1 * \sqrt{\frac{89,8}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 8,13 mm$$

Espesor de la chapa del fondo = 9 mm

Espesor del costado

El espesor del costado se dividirá en la chapa del costado bajo la cubierta de escantillonado y sobre la cubierta de escantillonado. La diferencia entre ambas es que en la chapa sobre la cubierta no se tendrán en cuenta las presiones internas inducidas en tanques.

Chapa del costado bajo la cubierta de escantillonado

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [mm]$$

Para la chapa del costado bajo la cubierta de escantillonado se tienen los siguientes datos.

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 6-2

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 6-3

- S (separación entre refuerzos) = 500 mm
- L (separación mínima entre cuadernas) = 550 mm
- $\gamma = 0,8925$
- $B = s/l = 500/550 = 0,909$
- $P_{\max} = 79,8 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 \cdot 500 \cdot 0,8925 \cdot 0,909 \cdot \sqrt{\frac{79,8}{0,75 \cdot 355}} \cdot 10^{-3} = 4,98 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa del costado bajo la cubierta de escantillonado = 5 mm

Chapa del costado sobre la cubierta de francobordo

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot \gamma \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_{\sigma} \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa del costado sobre la cubierta de escantillonado se tienen los siguientes datos.

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 6-4

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 6-5

- S (separación entre refuerzos) = 500 mm
- L (separación mínima entre cuadernas) = 550 mm
- $Y = 0,8925$
- $B = 0,909$
- $P_{\max} = 62,34 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 * 500 * 0,8925 * 0,909 * \sqrt{\frac{62,34}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 4,39 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa del costado sobre la cubierta de escantillonado = 5 mm

Espesor del doble fondo

Chapa del doble fondo

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_{\sigma} \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa del doble fondo se tienen los siguientes datos.

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	0	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,10	kN/m ²

Tabla 6-6

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	0	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	135,25	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,10	kN/m ²

Tabla 6-7

- S (separación entre refuerzos) = 700 mm
- L (separación entre cuadernas) = 700 mm
- $Y = 0,8925$
- $B = s/l = 700/700 = 1$
- $P_{\max} = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 * 700 * 0,8925 * 1 * \sqrt{\frac{152,1}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 10,57 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa del doble fondo = 11 mm

Espesor del pantoqueChapa del pantoque

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa del pantoque se tienen los siguientes datos.

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m²
p externa olas	21,55	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	75,03	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	99,30	kN/m ²

Tabla 6-8

- S (separación entre refuerzos) = 700 mm
- L (separación entre cuadernas) = 700 mm
- Y = 1
- B = s/l = 700/700 = 1
- P_{max} = 99,3 kN/m²
- f_σ = 0,75
- σ_s = 355 N/mm²

$$t_p = 22,4 \cdot 700 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{99,3}{0,75 \cdot 355}} \cdot 10^{-3} = 9,58 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa del pantoque = 10 mm

Espesor de la cubierta principalChapa de la cubierta principal

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa de la cubierta principal se tienen los siguientes datos.

tanques MUD

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 6-9

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	135,25	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 6-10

- S (separación entre refuerzos) = 600 mm

- L (separación entre cuadernas para maximizar B) = 600 mm
- $Y = 0,8925$
- $B = s/l = 600/600 = 1$
- $P_{\max} = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 * 600 * 0,8925 * 1 * \sqrt{\frac{152,1}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 9,06 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa de la cubierta principal = 10 mm

Espesor de las cubiertas de habilitación y puente de gobierno

Chapa de las cubiertas de habilitación y puente de gobierno

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_{\sigma} \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa de las cubiertas de habilitación y el puente de gobierno se tienen los siguientes datos.

- S (separación entre refuerzos) = 700 mm
- L (separación entre cuadernas) = 700 mm
- $Y = 0,8925$
- $B = s/l = 700/700 = 1$
- $P_{\max} = 15,99 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 * 700 * 0,8925 * 1 * \sqrt{\frac{15,99}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 3,43 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa de las cubiertas de habilitación = 4 mm

Espesor de la cubierta de castillo

Chapa de la cubierta de castillo

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_{\sigma} \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa de la cubierta de castillo se tienen los siguientes datos.

- S (separación entre refuerzos) = 700 mm
- L (separación entre cuadernas) = 700 mm
- $Y = 0,8925$
- $B = s/l = 700/700 = 1$
- $P_{\max} = 31,99 \text{ kN/m}^2$
- $f_{\sigma} = 0,75$
- $\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 22,4 * 700 * 0,8925 * 1 * \sqrt{\frac{31,99}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 4,85 \text{ mm}$$

Espesor de la chapa de la cubierta de castillo = 5 mm

Espesor de los mamparos longitudinales

Chapa de los mamparos longitudinales

$$t_p = 22,4 \cdot s \cdot Y \cdot \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \cdot \sigma_s}} \cdot 10^{-3} [\text{mm}]$$

Para la chapa de los mamparos longitudinales se tienen los siguientes datos.

tanques combustible

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	0	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	135,25	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 6-11

- S (separación entre refuerzos) = 500 mm
- L (separación mínima entre cuadernas) = 550 mm
- Y = 0,8925
- B = s/l = 500/550 = 0,909
- P_{max} = 152,1 kN/m²
- f_σ = 0,75
- σ_s = 355 N/mm²

$$t_p = 22,4 * 700 * 0,8925 * 0,909 * \sqrt{\frac{152,1}{0,75 * 355}} * 10^{-3} = 6,86 \text{ mm}$$

Espesor de los mamparos longitudinales = 7 mm

Resumen de los espesores de chapa

Denominación	Espesor (mm)	Calidad del acero
Espesor de la quilla	8	Tipo A
Espesor del fondo	9	Tipo A
Espesor del costado bajo cubierta	5	Tipo A
Espesor del costado sobre cubierta	5	Tipo A
Espesor del doble fondo	11	Tipo A
Espesor del pantoque	10	Tipo A
Espesor de la cubierta principal	10	Tipo A
Espesor de las cubiertas de habilitación	4	Tipo A
Espesor de la cubierta de castillo	5	Tipo A
Espesor de los mamparos longitudinales	7	Tipo A

Tabla 6-12

A estos espesores de chapa se les ha de añadir el margen de corrosión expuesto en el apartado 4.5 del presente cuaderno.

Teniendo en cuenta el margen aplicable a cada chapa se obtiene el valor definitivo de los espesores de chapa que se muestran en la siguiente tabla.

Figura 6.1

Chapa	Espesor (mm)	Margen de corrosión (mm)	Espesor final (mm)
Quilla	8	1	9
Fondo	9	1	10
Costado bajo cubierta	5	1	6
Costado sobre cubierta	5	1	6
Doble fondo	11	1	12
Pantoque	10	1	11
Cubierta principal	10	0,5	11
Cubiertas de habilitación	4	0	4
Cubierta de castillo	5	0,5	6
Mamparos longitudinales	7	0,5	8

Tabla 6-13

Los espesores de la cubierta principal, la cubierta de castillo y los mamparos longitudinales se han redondeado al alza para obtener un valor normalizado sin decimales.

Table 8.16.2 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	One side corrosion addition t_c or t_{c2} in mm
Exposed to sea water	1,0
Exposed to atmosphere	1,0
Ballast water tank	1,0
Void and dry spaces	0,5
Fresh water, fuel oil and lube oil tank	0,5
Accommodation spaces	0,0

7.- DIMENSIONES DE LOS REFUERZOS PRIMARIOS

El cálculo de las dimensiones de los refuerzos primarios se realiza a través de la normativa del *Lloyd's Register* en su apartado *Part 6, Ch 3, Determinación del escantillonado*. En este apartado se utilizarán varias de las secciones presentes en función del tipo de refuerzo primario que se esté calculando.

Al igual que los espesores de chapa, se redondeará el valor obtenido al alza por seguridad y al final del capítulo se añadirá el margen de corrosión para cada refuerzo.

Varengas

El espesor de las varengas viene determinado por la fórmula:

$$t_w = \sqrt{k_s} \cdot (0,05L_R + 3,5)$$

Dónde:

- $K_s = 0,662$ (calculado en el capítulo anterior)
- $L_R = 69,95$ m (eslora de escantillonado)

$$t_w = \sqrt{0,662} * (0,05 * 69,95 + 3,5) = 5,69 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de las varengas} = 6 \text{ mm}$$

La viga seleccionada para las varengas es una viga tipo HE 120 B con un espesor de 8 mm.

Vagras

Según el reglamento, el espesor de las vagras para buques con una manga mayor de 6 metros será el mismo que el espesor de las varengas.

$$t_w = \sqrt{0,662} * (0,05 * 69,95 + 3,5) = 5,69 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de las vagras} = 6 \text{ mm}$$

La viga seleccionada será la misma que la seleccionada para las varengas al requerir el mismo espesor de refuerzo. Viga tipo HE 120 B.

Bulárcamas

El cálculo de las bulárcamas se realiza mediante presiones, escogiendo la presión máxima ejercida sobre el costado del buque. En este caso no se calculará el espesor de la chapa, sino que se calculará el módulo, la inercia y el área requerido de las bulárcamas.

Se recuerda que en el *Cuaderno 4* se fijó una bulárcama por cada cuatro cuadernas, por lo que para el cálculo del dimensionamiento se toma la separación en la zona central del buque.

Módulo (Z)

La fórmula para el cálculo del módulo es:

$$Z = \frac{\phi_z \cdot P \cdot S \cdot l_e^2}{f_\sigma \cdot \sigma_s}$$

Los datos para el cálculo del módulo son:

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 7-1

- $\phi_z = 1/12$
- $P = 79,8 \text{ kN/m}^2$
- $S = 1085 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,0 \text{ m}$ (separación entre cubiertas mínimo)
- $f_\sigma = 0,65$ (coeficiente de tensión límite)
- $\sigma_s = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente elástico del acero)

$$Z = \frac{\frac{1}{12} * 79,8 * 1085 * 2,0^2}{0,65 * 355 * 10^{-6}} = 125,07 \text{ cm}^3$$

Inercia (I)

La fórmula para el cálculo de la inercia es:

$$I = \frac{\phi_I \cdot f_\delta \cdot P \cdot S \cdot l_e^3}{E} \cdot 100$$

Los datos para el cálculo de la inercia son:

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 7-2

- $\phi_I = 1/384$
- $P = 79,8 \text{ kN/m}^2$
- $S = 1085 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,0 \text{ m}$ (separación entre cubiertas mínimo)
- $f_\sigma = 1000$ (coeficiente de tensión límite)
- $E = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente de deformación del acero)

$$I = \frac{\frac{1}{384} * 1000 * 79,8 * 1085 * 2,0^3}{2 * 10^5} * 100 = 901,91 \text{ cm}^4$$

Área (A)

La fórmula para el cálculo del área es:

$$A = \frac{\phi_A \cdot P \cdot S \cdot l_e}{100 \cdot f_\tau \cdot \tau_s}$$

Los datos para el cálculo del área son:

p externa aguas tranquilas	62,34	kN/m ²
p externa olas	41,15	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	70,00	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	79,80	kN/m ²

Tabla 7-3

- $\phi_A = 1/2$
- $P = 79,8 \text{ kN/m}^2$
- $S = 1085 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,0 \text{ m}$ (separación entre cuadernas mínimo)
- $f_\tau = 0,65$ (coeficiente de deformación límite)
- $\tau_s = 204,96$

$$A = \frac{\frac{1}{2} * 79,8 * 1085 * 2,0}{100 * 0,65 * 204,96} = 6,49 \text{ cm}^2$$

Con estos datos se procede a la elección de un perfil que cumpla con los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación. Con la elección del perfil se determina el espesor de las bulárcamas.

El perfil escogido es el perfil HE 140 A normalizado cuyas características se muestran en el *Anexo III* y que cumple con todos los requerimientos necesarios.

$$\text{Espesor de las bulárcamas} = 6 \text{ mm}$$

Longitudinales de cubierta

El proceso para el cálculo de los longitudinales es el mismo que para el cálculo de las bulárcamas, a diferencia de la presión máxima seleccionada, ya que en este caso se tomará la presión máxima ejercida sobre la cubierta principal.

Módulo (Z)

La fórmula para el cálculo del módulo es:

$$Z = \frac{\phi_z \cdot P \cdot S \cdot l_e^2}{f_\sigma \cdot \sigma_s}$$

Los datos para el cálculo del módulo son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	31,69	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 7-4

- $\phi_z = 1/10$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $S = 600 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,8 \text{ m}$ (separación entre bulárcamas)
- $f_\sigma = 0,65$ (coeficiente de tensión límite)
- $\sigma_s = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente elástico del acero)

$$Z = \frac{1}{10} * 152,1 * 600 * 2,8^2 = 310,07 \text{ cm}^3$$

Inercia (I)

La fórmula para el cálculo de la inercia es:

$$I = \frac{\phi_I \cdot f_\delta \cdot P \cdot S \cdot l_e^3}{E} \cdot 100$$

Los datos para el cálculo de la inercia son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	31,69	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 7-5

- $\phi_I = 1/288$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $S = 600 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,8 \text{ m}$ (separación entre bulárcamas)
- $f_\sigma = 1000$ (coeficiente de tensión límite)
- $E = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente de deformación del acero)

$$I = \frac{1}{288} * 1000 * 152,1 * 600 * 2,8^3 = 3478,02 \text{ cm}^4$$

Área (A)

La fórmula para el cálculo del área es:

$$A = \frac{\phi_A \cdot P \cdot S \cdot l_e}{100 \cdot f_\tau \cdot \tau_s}$$

Los datos para el cálculo del área son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	31,69	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 7-6

- $\phi_A = 1/2$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $S = 600 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 2,8 \text{ m}$ (separación entre bulárcamas)
- $f_\tau = 0,65$ (coeficiente de deformación límite)
- $\tau_s = 204,96$

$$A = \frac{1}{2} * 152,1 * 600 * 2,8 = 9,59 \text{ cm}^2$$

Con estos datos se procede a la elección de un perfil que cumpla con los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación. Con la elección del perfil se determina el espesor de los longitudinales.

El perfil escogido es el perfil HE 200A normalizado cuyas características se muestran en el *Anexo III* y que cumple con todos los requerimientos necesarios.

$$\text{Espesor de los longitudinales} = 10 \text{ mm}$$

Baos

Los baos se dimensionan con el mismo procedimiento que las bulárcamas y los longitudinales de cubierta, tomando como presión máxima la que se ejerce sobre la cubierta principal. Se disponen los baos cada 4 claras (2,8 metros).

Módulo (Z)

La fórmula para el cálculo del módulo es:

$$Z = \frac{\phi_z \cdot P \cdot S \cdot l_e^2}{f_\sigma \cdot \sigma_s}$$

Los datos para el cálculo del módulo son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	31,69	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 7-7

- $\phi_z = 1/24$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $S = 2800 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 4,7 \text{ m}$ (máxima luz entre puntales)
- $f_\sigma = 0,65$ (coeficiente de tensión límite)
- $\sigma_s = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente elástico del acero)

$$Z = \frac{\frac{1}{24} * 152,1 * 2800 * 4,7^2}{0,65 * 355} = 1698,75 \text{ cm}^3$$

Inercia (I)

La fórmula para el cálculo de la inercia es:

$$I = \frac{\phi_I \cdot f_\delta \cdot P \cdot S \cdot l_e^3}{E} \cdot 100$$

Los datos para el cálculo de la inercia son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m ²
p externa olas	31,69	kN/m ²
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m ²
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m ²

Tabla 7-8

- $\phi_I = 1/384$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$

- $S = 2800 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 4,7 \text{ m}$ (máxima luz entre puntales)
- $f_\sigma = 1000$ (coeficiente de tensión límite)
- $E = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ (coeficiente de deformación del acero)

$$I = \frac{1}{384} * 1000 * 152,1 * 2800 * 4,7^3$$

$$I = \frac{1}{2 * 10^5} * 100 = 57573,09 \text{ cm}^4$$

Área (A)

La fórmula para el cálculo del área es:

$$A = \frac{\phi_A \cdot P \cdot S \cdot l_e}{100 \cdot f_\tau \cdot \tau_s}$$

Los datos para el cálculo del área son:

p externa aguas tranquilas	5,83	kN/m2
p externa olas	31,69	kN/m2
p interna inducida en tanques por aguas tranquilas	136,95	kN/m2
p interna inducida en tanques por test	152,1	kN/m2

Tabla 7-9

- $\phi_A = 1/2$
- $P = 152,1 \text{ kN/m}^2$
- $S = 2800 \text{ mm}$ (separación de miembros primarios)
- $l_e = 4,7 \text{ m}$ (máxima luz entre puntales)
- $f_\tau = 0,65$ (coeficiente de deformación límite)
- $\tau_s = 204,96$

$$A = \frac{1}{2} * 152,1 * 2800 * 4,7$$

$$A = \frac{1}{100 * 0,65 * 204,96} = 75,13 \text{ cm}^2$$

Con estos datos se procede a la elección de un perfil que cumpla con los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación. Con la elección del perfil se determina el espesor de los baos.

El perfil escogido es el perfil HE 320 M normalizado cuyas características se muestran en el *Anexo III* y que cumple con todos los requerimientos necesarios.

$$\text{Espesor de los baos} = 13 \text{ mm}$$

Puntales bajo cubierta

El cálculo de los puntales se determina de una forma distinta a los elementos anteriores. Se sitúan dos puntales, uno a babor y otro a estribor, cada uno a 3 metros de crujía. Se dispondrán puntales cada 4 claras de cuadernas.

En el reglamento se utiliza el apartado *Part 4, Ch 1, Sc 4 Estructura de cubierta*.

Área de la sección transversal

En primer lugar, se procede a la estimación del área de cada puntal. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}} [cm^2]$$

El valor de P se obtiene mediante la expresión:

$$P = \frac{9,81 \cdot S \cdot H_g \cdot l_p}{C} + P_a$$

- $l_t = 4,7$ m (separación transversal entre puntales)
- $l_e = 0,8l_p = 3,76$ m
- $k = 1$
- $P_a = 0$ (presión ejercida por la carga de cubierta)
- $H_g = 1,4$
- $l_p = 2,8$ (separación longitudinal entre puntales)
- $C = 1,39$ (coeficiente de estiba)
- $S = 2800$ (separación de los refuerzos primarios)

Para estimar un primer radio para los puntales es necesario estimar el área de los puntales mediante la expresión:

$$A_p = \frac{\sqrt{k \cdot P}}{9,32}$$

Y también es necesario estimar el momento de inercia de los puntales mediante la expresión:

$$I = \frac{1,85}{k} \cdot l_e \cdot Z$$

Estimando un valor para $Z = 123,5/k$ N/mm²

$$I = \frac{1,85}{1} * 3,76 * \frac{123,5}{1} = 859,06 \text{ cm}^4$$

Se puede proceder a la primera aproximación del área de los puntales.

$$P = \frac{9,81 * 2800 * 1,4 * 2,8}{1,39} + 0 = 77,46 \text{ kN}$$

$$A_p = \frac{\sqrt{1 * 77,46}}{9,32} = 8,31 \text{ cm}^2$$

El radio de giro se estima como:

$$r = 10 \sqrt{\frac{I}{A_p}} [mm] = 10 * \sqrt{\frac{859,06}{8,31}} = 101,66 \text{ cm}$$

Con este valor se estima de nuevo el área de los puntales mediante la primera expresión expuesta.

$$A_p = \frac{1 * 77,46}{12,36 - 51,5 * \frac{2,4}{54,15 * \sqrt{1}}} = 7,5 \text{ cm}^2$$

Se da por válido el resultado, ya que la diferencia entre las dos áreas calculadas es inferior al 10%.

$$\frac{8,31 - 7,5}{8,31} * 100 = 9,76\% < 10\%$$

Espesor mínimo de la pared del tubo

Una vez conocidas las propiedades físicas requeridas para los puntales, se procede al cálculo del espesor de la pared del tubo requerida por la sociedad de clasificación. Se utilizan las siguientes fórmulas:

$$t = \frac{P}{d_p \left(0,392 - 1,53 \cdot \frac{l_e}{r} \right)} [mm]$$

$$t = \frac{d_p}{40} [mm]$$

$$t \geq 5,08 \text{ mm (esloras menores de 90 m)}$$

$$d_p = 2 \cdot r = 2 * 101,66 = 203,33 \text{ cm}$$

Se calculan los espesores de la pared mediante ambas fórmulas, se comprueba que cumplen el espesor mínimo y se elige la que tenga el valor más alto.

$$t = \frac{77,46}{203,33 * \left(0,392 - 1,53 * \frac{3,76}{101,66} \right)} = 1,13 \text{ mm} < 5,5 \text{ mm}$$

$$t = \frac{108,29}{40} = 2,70 \text{ mm} < 5,5 \text{ mm}$$

Al ser ambos espesores menores del mínimo exigido se toma como espesor de la pared del tubo el valor para esloras menores de 90 metros.

$$t_{\text{espesor de la pared}} = 6 \text{ mm}$$

El puntal escogido es un tubo de barra redonda R105. Las especificaciones del tubo se muestran en el *Anexo III*.

Márgenes de corrosión de los refuerzos primarios

Refuerzo	Espesor inicial (mm)	Márgen de corrosión (mm)	Espesor final (mm)
Varenga	6	1	7
Vagra	6	1	7

Tabla 7-10

Para el margen de corrosión de los refuerzos primarios sólo se tienen en cuenta las varengas y las vagras ya que se dimensionan a partir de los espesores de chapa.

Resumen de los refuerzos primarios

Refuerzo primario	Inercia exigida (m4)	Viga	Inercia real (m4)	Espesor real (mm)
Varenga		HE 120 B	864,4	8
Vagra		HE 120 B	864,4	8
Bulárcama	2737,14	HE 140 A	1033	6
Longitudinal de cubierta	3478,02	HE 200 A	3692	10
Bao	11328,03	HE 320 A	68130	15

Tabla 7-11

Refuerzo primario	Área exigida (m2)	Viga	Área real (m2)	diámetro (mm)
Puntal	7,5	R 105	86,6	105

Tabla 7-12

8.- DIMENSIONES DE LOS REFUERZOS SECUNDARIOS

A continuación, se procede al cálculo de los refuerzos secundarios tras haber dimensionado en el capítulo anterior los refuerzos primarios.

Los refuerzos secundarios dimensionados están relacionados directamente cada uno de ellos con algún refuerzo primario, por lo que se dimensionan a partir de éstos.

Para el cálculo de estos refuerzos se toma como referencia el reglamento del *Lloyd's Register Part 3, Ch 4, Sc 5 y 6*. Las secciones 5 y 6 corresponden a la resistencia longitudinal y transversal respectivamente en función del refuerzo necesario en cada caso, al llevar el buque una configuración mixta en su estructura.

Refuerzos verticales en las varengas

El módulo requerido para los refuerzos verticales en las varengas es:

$$Z = \frac{100 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{\sigma} [cm^3]$$

El valor de P será el mayor de entre las presiones calculadas para el doble fondo.

$$P = 89,8 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m (separación entre bulárcamas)
- S = 0,5 mm (separación entre refuerzos)
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{100 \cdot 2,8^2 \cdot 0,5 \cdot 89,8 \cdot 1,05}{160} = 231,01 \text{ cm}^3$$

El módulo de los refuerzos de las varengas se incrementará un 25% para que los refuerzos no tengan que llegar a los extremos de las varengas.

$$Z = 1,25 \cdot 231,01 = 288,76 \text{ cm}^3$$

La plancha asociada al refuerzo (en este caso las varengas) debe tener un espesor no inferior a:

$$t = 1,25\sqrt{(1 - 0,5S) \cdot S \cdot P} + tk [mm]$$

Tk: margen de corrosión

$$tk = 1 \text{ mm}$$

$$t = 1,25\sqrt{(1 - 0,5 \cdot 0,5) \cdot 0,5 \cdot 89,8} + 1 = 8,25 \text{ mm}$$

El espesor de las varengas es inferior a este valor, por lo que se tomará como nuevo valor de espesor de las varengas:

$$\text{Espesor de las varengas} = 9 \text{ mm}$$

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,02L + tk = 5 + 0,02 \cdot 69,95 + 1 = 7,4 \text{ mm}$$

El refuerzo vertical en las varengas escogido es un perfil en L 250x250x20 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Refuerzos longitudinales del costado

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales en los costados es:

$$Z = \frac{83 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{\sigma} [cm^3] > 15cm^3$$

Se dividen los longitudinales del costado en dos zonas verticales:

Zona debajo de la cubierta principal

El valor de P será el mayor de entre las presiones calculadas para el costado del buque.

$$P = 79,8 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m (separación entre bulárcamas)
- S = 0,5 m (separación entre refuerzos)
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,5 \cdot 79,8 \cdot 1,05}{160} = 170,38 \text{ cm}^3$$

Se toma este valor porque supera los 15 cm³ mínimos exigidos por la sociedad de clasificación.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 \cdot 69,95 + 1 = 7,4 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal del costado escogido es un perfil en L 180x180x17 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Zona encima de la cubierta principal

El valor de P será el mayor de entre las presiones calculadas en el costado del buque por encima de la cubierta principal:

$$P = 62,34 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m (separación entre bulárcamas)
- S = 0,5 m
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,5 \cdot 62,34 \cdot 1,05}{160} = 170,38 \text{ cm}^3$$

El módulo es superior a los 15 cm³ exigidos por la sociedad de clasificación, por lo que se tomará este módulo.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 7,4 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal del costado escogido es un perfil en L 200x200x17 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Refuerzos longitudinales de la cubierta principal

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales en la cubierta principal es:

$$Z = \frac{83 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{\sigma} [cm^3] > 15cm^3$$

El valor de P será el mayor de entre las presiones calculadas para la cubierta principal del buque.

$$P = 152,1 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m
- S = 0,6 m
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{83 * 2,8^2 * 0,6 * 152,1 * 1,05}{160} = 389,71 \text{ cm}^3$$

Se toma este valor porque supera los 15 cm³ mínimos exigidos por la sociedad de clasificación.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 6,69 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal de la cubierta principal escogido es un perfil en L 250x250x25 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Refuerzos longitudinales de la cubierta de castillo

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales en la cubierta de castillo es:

$$Z = \frac{83 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{\sigma} [cm^3] > 15cm^3$$

El valor de P será el mayor de entre las presiones calculadas para la cubierta de castillo.

$$P = 31,99 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m
- S = 0,7 m
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$

$$- w_k = 1,05$$

$$Z = \frac{832,8 * 0,7 * 31,99 * 1,05}{160} = 95,62 \text{ cm}^3$$

Se toma este valor porque supera los 15 cm³ mínimos exigidos por la sociedad de clasificación.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 6,69 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal de la cubierta de castillo escogido es un perfil en L 180x180x13 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales en los mamparos longitudinales es:

$$Z = \frac{83 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{\sigma} [\text{cm}^3] > 15 \text{ cm}^3$$

Se dividen los longitudinales de los mamparos longitudinales en dos zonas verticales:

Zona debajo de la cubierta principal

El valor de P será el mayor de entre las presiones internas calculadas para el costado del buque.

$$P = 62,34 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m
- S = 0,5 m
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{83 * 2,8^2 * 0,5 * 62,34 * 1,05}{160} = 133,10 \text{ cm}^3$$

Se toma este valor porque supera los 15 cm³ mínimos exigidos por la sociedad de clasificación.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 6,69 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal de los mamparos longitudinales escogido es un perfil en L 180x180x17 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Zona encima de la cubierta principal

El valor de P será el mayor de entre las presiones internas calculadas en el costado del buque por encima de la cubierta principal:

$$P = 41,15 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m
- S = 0,65 m
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{83 * 2,8^2 * 0,65 * 41,15 * 1,05}{160} = 114,22 \text{ cm}^3$$

El módulo es superior a los 15 cm³ exigidos por la sociedad de clasificación, por lo que se tomará este módulo.

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 6,69 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal de los mamparos longitudinales escogido es un perfil en L 180x180x15 para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Refuerzos verticales de los mamparos transversales

El módulo requerido para los refuerzos verticales de los mamparos transversales es:

$$Z = \frac{6,25 \cdot L^2 \cdot S \cdot P \cdot w_k}{m} [\text{cm}^3]$$

El valor de P será el mayor de entre las presiones internas calculadas para el costado del buque.

$$P = 62,34 \text{ kN/m}^2$$

Los valores necesarios para el cálculo de Z son:

- L = 2,8 m
- S = 0,5 m
- $m = 7,5 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

$$Z = \frac{6,25 * 2,8^2 * 0,5 * 62,34 * 1,05}{7,5} = 213,82 \text{ cm}^3$$

El espesor mínimo del refuerzo será:

$$t_1 = 5 + 0,01L + tk = 5 + 0,01 * 69,95 + 1 = 6,69 \text{ mm}$$

El refuerzo longitudinal de la cubierta principal escogido es un perfil L 200x200x22 de alas anchas para cumplir con el mínimo módulo exigido. Las especificaciones del perfil se muestran en el *Anexo III*.

Resumen de los refuerzos secundarios**Refuerzos secundarios**

Situación	Tipo de refuerzo	Módulo exigido (cm3)	Viga	Módulo real (cm3)
Varenga	Vertical	288,76	L 250x250x20	317,9
Costado bajo cubierta	Longitudinal	133,11	L 180x180x17	137,2
Costado sobre cubierta	Longitudinal	170,39	L 200x200x17	171,2
Cubierta principal	Longitudinal	389,71	L 250x250x25	390,9
cubierta de castillo	Longitudinal	95,63	L 180x180x13	106,5
Mamparos longitudinales bajo cubierta	Longitudinal	133,11	L 180x180x17	137,2
Mamparos longitudinales sobre cubierta	Longitudinal	114,22	L 180x180x15	122
Mamparos transversales	Vertical	213,83	L 200x200x22	217,3

Tabla 8-1

9.- MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA

En el presenta capítulo se procede al cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra. Para realizar dicho cálculo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones.

- Los elementos que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque son aquellos elementos continuos que se extienden 0,4L en el centro del buque. Según la sociedad de clasificación, se deben incluir aquellos elementos que se encuentren por debajo de la cubierta resistente, por lo que en este caso se delimita la cuaderna maestra hasta la cubierta de castillo. Los elementos a considerar son las chapas del forro, la quilla, la cubierta principal, la plancha del doble fondo y los refuerzos longitudinales. Para el cálculo del módulo de la cuaderna maestra no se tienen en cuenta los refuerzos transversales como las cuadernas y los baos. Tampoco se tendrá en cuenta el forro interior de los tanques, la cubierta de castillo ni los mamparos longitudinales ya que no son elementos longitudinales continuos.
- La superestructura del buque se considera como un refuerzo positivo para la resistencia longitudinal.
- La estructura se considera simétrica, por lo que se realiza el cálculo en un costado y se multiplican los valores obtenidos por 2.

Procedimiento para el cálculo del módulo resistente

Para realizar el cálculo se dispone de una tabla en el que se representan los siguientes valores:

- En la primera columna se disponen todos los elementos longitudinales resistentes.
- En la segunda columna se disponen las dimensiones de cada elemento, así como sus escantillones. También aparecerá el número de elementos que se instalan en una tercera columna.
- En la cuarta columna se presentan las áreas de la sección transversal de cada uno de los elementos.
- En la quinta columna están los centros de gravedad transversales de cada elemento respecto a la línea de base.
- En la sexta columna se calcula el momento estático (M) de primer orden respecto a la línea de base. El momento estático es el resultado de multiplicar las áreas de las secciones transversales por su correspondiente centro de gravedad transversal.

$$M = A \cdot y_G [cm^2 \cdot m]$$

- En la séptima columna se calcula el momento de inercia (I) de cada elemento respecto a la línea de base, multiplicando el momento estático por el centro de gravedad transversal correspondiente. Es el momento se segundo orden.

$$I = M \cdot y_G = A \cdot y_G^2 [cm^2 \cdot m^2]$$

- En la última columna se calcula el momento de inercia transversal de cada elemento o momento de inercia propio, respecto al centro de gravedad del elemento.

$$I_o = \frac{A \cdot h^2}{12} [cm^2 \cdot m^2]$$

También se calcula el centro de gravedad de la sección o altura del eje neutro, cuya altura respecto a la línea de base se calcula mediante la expresión:

$$y_{EN} = \frac{\sum(A_i \cdot y_{Gi})}{\sum A_i} [m]$$

Se calcula el momento de inercia total respecto a la línea de base mediante la expresión:

$$I_{ox} = \sum I_o + \sum (A_i \cdot y_{Gi}^2) [cm^2 \cdot m^2]$$

Con el momento de inercia total se calcula el momento de inercia respecto al eje neutro que se obtiene mediante el *teorema de Steiner*.

$$I_{EN} = I_o - y_{Gi}^2 \cdot \sum A_i [cm^2 \cdot m^2]$$

Se miden las distancias del fondo y de la cubierta de castillo al eje neutro (y_{Fondo} , $y_{Cubierta}$).

Con estas medidas se procede al cálculo del módulo resistente del fondo y de la cubierta A.

$$W_{fondo} = \frac{I_{EN}}{y_{fondo}} [cm^2 \cdot m]$$

$$W_{cubierta} = \frac{I_{EN}}{y_{EN} - y_{cubiert}} [cm^2 \cdot m]$$

El último procedimiento es comprobar los valores obtenidos respecto a los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación calculados en el *Capítulo 4.4* del presente cuaderno. Los valores a comprobar son el módulo resistente y el momento de inercia de la sección.

Cálculo del módulo resistente

<i>Elemento</i>	<i>Escnt. (mm)</i>	<i>Área (cm2)</i>	<i>Yg (mm)</i>	<i>Área*Yg (cm2·m)</i>	<i>Á*Yg2 (cm2·m2)</i>	<i>h eqv (mm)</i>	<i>lo (cm2·m2)</i>	<i>len=lo+A*Yg2</i>
Vagra central	1000x8	80	4	0,32	0,001	1000	6,667	6,67
Vagra media	1000x8	80	4000	320,00	1.280,000	1000	6,667	1286,67
Vagra exterior	1000x8	80	8000	640,00	5.120,000	1000	6,667	5126,67
Chapa del fondo	6750x10	675	2	1,35	0,003	10	0,006	0,01
Chapa del doble fondo	8670x12	104,04	1000	104,04	104,040	1000	8,670	112,71
Chapa del fondo de la quilla	500x9	45	-500	-22,50	11,250	9	0,000	11,25
Chapa lateral de la quilla	500x9	45	-250	-11,25	2,813	500	0,938	3,75
Forro del costado bajo cub. Prin	8230x9	740,7	9000	6666,30	59.996,700	8230	4180,813	64177,51
Forro del costado sobre cub. Prin	3000x8	240	9000	2160,00	19.440,000	3000	180,000	19620,00
Cubierta principal	9000x12	1080	8230	8888,40	73.151,532	12	0,013	73151,54
Refuerzo de costado 1	180x180x17	119	1230	146,37	180,035	250	0,620	180,65
Refuerzo de costado 2	180x180x17	119	1730	205,87	356,155	250	0,620	356,77
Refuerzo de costado 3	180x180x17	119	2230	265,37	591,775	250	0,620	592,39
Refuerzo de costado 4	180x180x17	119	2730	324,87	886,895	250	0,620	887,51
Refuerzo de costado 5	180x180x17	119	3230	384,37	1.241,515	250	0,620	1242,13
Refuerzo de costado 6	180x180x17	119	3730	443,87	1.655,635	250	0,620	1656,25
Refuerzo de costado 7	180x180x17	119	4230	503,37	2.129,255	250	0,620	2129,87
Refuerzo de costado 8	180x180x17	119	4730	562,87	2.662,375	250	0,620	2662,99
Refuerzo de costado 9	180x180x17	119	5230	622,37	3.254,995	250	0,620	3255,61
Refuerzo de costado 10	180x180x17	119	5730	681,87	3.907,115	250	0,620	3907,73
Refuerzo de costado 11	180x180x17	119	6230	741,37	4.618,735	250	0,620	4619,35
Refuerzo de costado 12	180x180x17	119	6730	800,87	5.389,855	250	0,620	5390,47
Refuerzo de costado 13	180x180x17	119	7230	860,37	6.220,475	250	0,620	6221,09
Refuerzo de costado 14	180x180x17	119	7730	919,87	7.110,595	250	0,620	7111,21
Longitudinal de cubierta principal 1	250x250x25	96,3	600	57,78	34,668	170	0,232	34,90
Longitudinal de cubierta principal 2	250x250x25	96,3	1200	115,56	138,672	170	0,232	138,90
Longitudinal de cubierta principal 3	250x250x25	96,3	1800	173,34	312,012	170	0,232	312,24
Longitudinal de cubierta principal 4	250x250x25	96,3	2400	231,12	554,688	170	0,232	554,92

Longitudinal de cubierta principal 5	250x250x25	96,3	3000	288,90	866,700	170	0,232	866,93
Longitudinal de cubierta principal 6	250x250x25	96,3	3600	346,68	1.248,048	170	0,232	1248,28
Longitudinal de cubierta principal 7	250x250x25	96,3	4200	404,46	1.698,732	170	0,232	1698,96
Longitudinal de cubierta principal 8	250x250x25	96,3	4800	462,24	2.218,752	170	0,232	2218,98
Longitudinal de cubierta principal 9	250x250x25	96,3	5400	520,02	2.808,108	170	0,232	2808,34
Longitudinal de cubierta principal 10	250x250x25	96,3	6000	577,80	3.466,800	170	0,232	3467,03
Longitudinal de cubierta principal 11	250x250x25	96,3	6600	635,58	4.194,828	170	0,232	4195,06
Longitudinal de cubierta principal 12	250x250x25	96,3	7200	693,36	4.992,192	170	0,232	4992,42
Longitudinal de cubierta principal 13	250x250x25	96,3	7800	751,14	5.858,892	170	0,232	5859,12
Longitudinal de cubierta principal 14	250x250x25	96,3	8400	808,92	6.794,928	170	0,232	6795,16
Refuerzo de mamp. Long. central 1	180x180x17	119	1550	184,45	285,898	250	0,620	286,52
Refuerzo de mamp. Long. central 2	180x180x17	119	2050	243,95	500,098	250	0,620	500,72
Refuerzo de mamp. Long. central 3	180x180x17	119	2550	303,45	773,798	250	0,620	774,42
Refuerzo de mamp. Long. central 4	180x180x17	119	3050	362,95	1.106,998	250	0,620	1107,62
Refuerzo de mamp. Long. central 5	180x180x17	119	3550	422,45	1.499,698	250	0,620	1500,32
Refuerzo de mamp. Long. central 6	180x180x17	119	4050	481,95	1.951,898	250	0,620	1952,52
Refuerzo de mamp. Long. central 7	180x180x17	119	4550	541,45	2.463,598	250	0,620	2464,22
Refuerzo de mamp. Long. central 8	180x180x17	119	5050	600,95	3.034,798	250	0,620	3035,42
Refuerzo de mamp. Long. central 9	180x180x17	119	5550	660,45	3.665,498	250	0,620	3666,12
Refuerzo de mamp. Long. central 10	180x180x17	119	6050	719,95	4.355,698	250	0,620	4356,32

Refuerzo de mamp. Long. central 11	180x180x17	119	6550	779,45	5.105,398	250	0,620	5106,02
Refuerzo de mamp. Long. central 12	180x180x17	119	7050	838,95	5.914,598	250	0,620	5915,22
Refuerzo de mamp. Long. central 13	180x180x17	119	7550	898,45	6.783,298	250	0,620	6783,92
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 1	180x180x17	119	1550	184,45	285,898	250	0,620	286,52
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 2	180x180x17	119	2050	243,95	500,098	250	0,620	500,72
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 3	180x180x17	119	2550	303,45	773,798	250	0,620	774,42
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 4	180x180x17	119	3050	362,95	1.106,998	250	0,620	1107,62
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 5	180x180x17	119	3550	422,45	1.499,698	250	0,620	1500,32
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 6	180x180x17	119	4050	481,95	1.951,898	250	0,620	1952,52
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 7	180x180x17	119	4550	541,45	2.463,598	250	0,620	2464,22
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 8	180x180x17	119	5050	600,95	3.034,798	250	0,620	3035,42
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 9	180x180x17	119	5550	660,45	3.665,498	250	0,620	3666,12
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 10	180x180x17	119	6050	719,95	4.355,698	250	0,620	4356,32
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 11	180x180x17	119	6550	779,45	5.105,398	250	0,620	5106,02
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 12	180x180x17	119	7050	838,95	5.914,598	250	0,620	5915,22
Refuerzo de mamp. Long. Ext. 13	180x180x17	119	7550	898,45	6.783,298	250	0,620	6783,92
SUMATORIOS		9277,94		46354,94	309382,30		4418,48	313800,7831

Tabla 9-1

Se recuerda que los valores obtenidos en los sumatorios representan sólo una mitad del buque. Los valores totales se presentan a continuación.

$$\sum A = 9277,94 * 2 = 18555,88 \text{ cm}^2 = 1,855 \text{ m}^2$$

$$\sum (A \cdot y_G) = 46354,94 * 2 = 92709,88 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} = 9,27 \text{ m}^3$$

$$\sum (A \cdot y_G^2) = 309382,3 * 2 = 618764,6 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 = 61,87 \text{ m}^4$$

$$\sum I_O = 4418,48 * 2 = 8836,95 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 = 0,8837 \text{ m}^4$$

La posición del eje neutro se calcula mediante la fórmula:

$$y_{EN} = \frac{\sum(A_i \cdot y_{Gi})}{\sum A_i} [\text{m}] = \frac{9,271}{1,855} = 4,996 \text{ m}$$

El momento de inercia de la cuaderna maestra calculado mediante el *Teorema de Steiner* es:

$$I_{EN} = \sum (A \cdot y_G^2) + \sum I_O - y_{EN}^2 \cdot \sum A_i [\text{m}^4]$$

$$I_{EN} = 61,876 + 0,883 - 4,996^2 * 1,855 = 16,439 \text{ m}^4$$

El módulo del fondo y de la cubierta se calculan con las siguientes expresiones:

$$W_{fondo} = \frac{I_{EN}}{y_{fondo}} [\text{m}^3] = \frac{16,439}{4,996} = 3,29 \text{ m}^3$$

$$W_{cubierta} = \frac{I_{EN}}{|y_{EN} - y_{cubierta}|} [\text{m}^3] = \frac{16,439}{|4,996 - 8,23|} = 45,084 \text{ m}^3$$

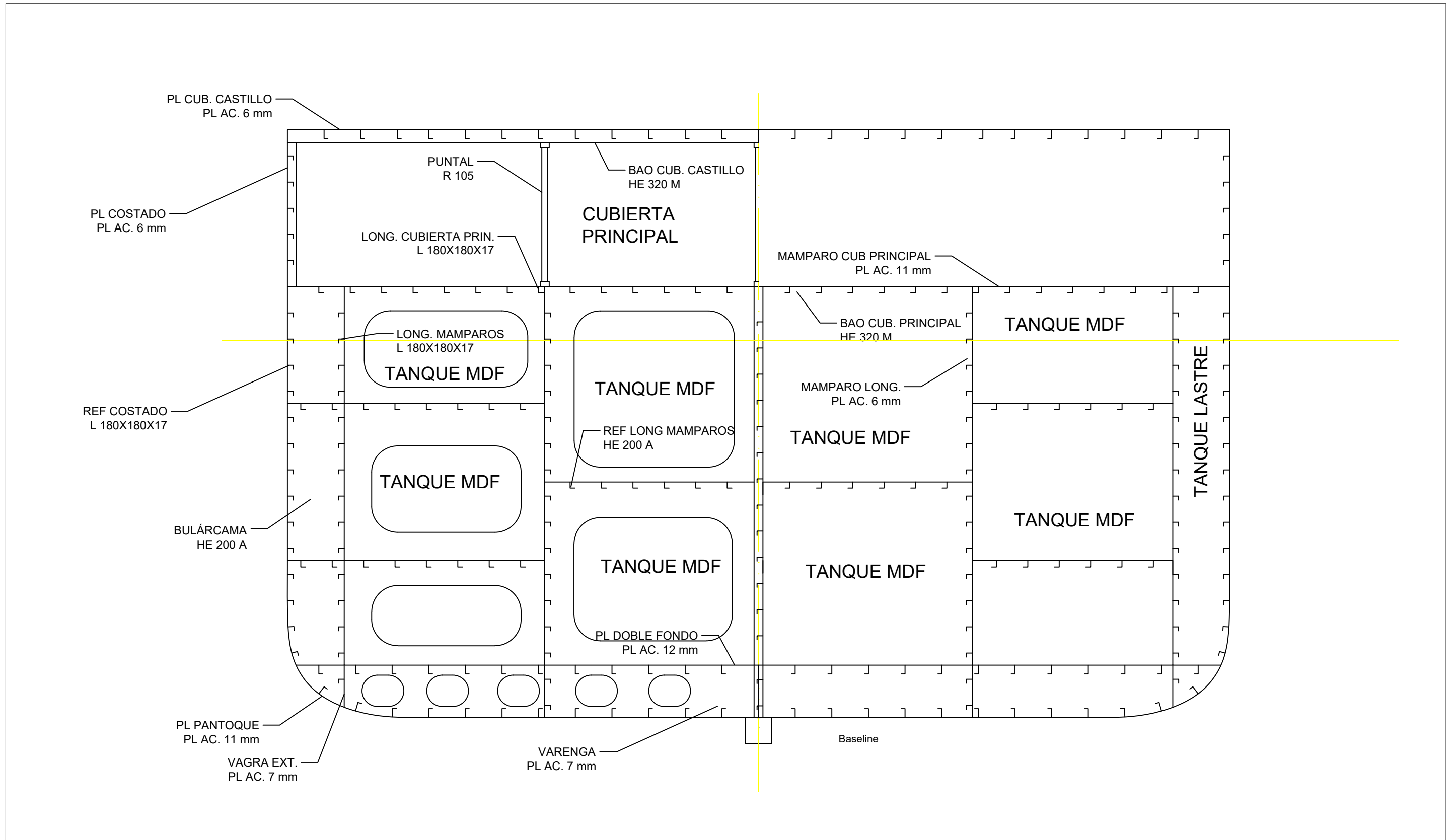
El último paso es comprobar que los módulos calculados, así como la inercia de la cuaderna maestra respecto al eje neutro cumplen con los valores mínimos exigidos por la sociedad de clasificación. Los valores mínimos exigidos y los valores reales obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

	Valor mínimo	Valor real
Momento de inercia (m4)	7,034	16,440
Módulo de cubierta (m3)	0,858	3,290
Módulo de fondo (m3)	0,858	5,084
Altura eje neutro (m)	4,115	4,996

Tabla 9-2

Por lo que se puede decir que la cuaderna maestra calculada, cumple con todos los requisitos impuestos por el *Lloyd's Register of Shipping*.

10.- ANEXO I. PLANO DE LA CUADERNA MAESTRA



DIMENSIONES PRINCIPALES

Eslora total.....76,2 m
 Eslora entre perpendiculares.....69,3 m
 Manga de trazado.....18 m
 Puntal de trazado.....8,21 m
 Calado de diseño.....6,61 m

Fecha	Nombre	Firma	Universidade da Coruña
22/3/17	Jose Rábano Carretero		EPS FERROL
Escala	Designación	Tamaño A-3	Número de plano
1:100	CUADERNA MAESTRA		08.BP.01

11.- ANEXO II. ESPESORES MÍNIMOS DE CHAPA

1.3 Direct calculations

1.3.1 The extent of direct calculation required will depend on the ship's structural configuration and operational requirements and is to be agreed between the designer, Owner, Naval Administration and Lloyd's Register (hereinafter referred to as 'LR') at an early stage in the plan approval process.

1.3.2 In addition, where the ship is of unusual design, form, proportion or has operational requirements such as very high speed, the scantlings will be specially considered and may require direct calculation.

1.4 Equivalents

1.4.1 LR will consider direct calculations for the derivation of scantlings as an alternative and equivalent to those derived by rule requirements in accordance with *Vol 1, Pt 3, Ch 1, 2 Direct calculations Vol 1, Pt 3, Ch 1, 2 Direct calculations* and *Vol 1, Pt 3, Ch 1, 3 Equivalents*.

■ Section 2 Minimum structural requirements

2.1 General

2.1.1 The requirements of this Section, unless specified otherwise, are applicable to all ship types, NS1, NS2 and NS3.

2.1.2 The scantlings of plating and stiffeners determined from the Rule scantling requirements are not to be less than that given in *Table 3.2.1 Minimum structural requirements* for the ship type. Due consideration is to be given to the vessel type correction factor, ω , as defined in *Table 3.2.2 Vessel type correction factor (ω)*

2.1.3 In addition, where plating contributes to the global strength of the ship, the thickness is to be not less than that required to satisfy the global strength requirements detailed in *Vol 1, Pt 6, Ch 4 Hull Girder Strength*

2.2 Corrosion margin

2.2.1 The minimum thicknesses given in *Table 3.2.1 Minimum structural requirements* are based on the assumption that the correct coatings are used and a proper maintenance regime is employed such that there is negligible loss in strength due to corrosion. Where this is not the case the minimum thickness will be specially considered. For corrosion margins, see *Vol 1, Pt 6, Ch 6, 2.10 Corrosion margin*

Table 3.2.1 Minimum structural requirements

Item	Minimum Scantling	
Shell envelope		
Bottom shell and bilge plating	$\sqrt{k_{ms}} (0,4\sqrt{L_R} + 2)$ mm	$\geq 5,0\omega$
Side shell plating	$\sqrt{k_{ms}} (0,38\sqrt{L_R} + 1,2)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Breadth of keel plate, if fitted	$7L_R + 340$ mm	≥ 750 See Note 1
Keel plate thickness, if fitted	$\omega \sqrt{k_{ms}} 1,35L^{0,45}_R$ mm	See Note 2
Breadth of stem plate	$7L_R + 340$ mm	≥ 600 See Note 2
Stem plate thickness	$\omega (5 + 0,083L_2) \sqrt{k_{ms}}$ mm	
Bar keel area, if fitted	$\omega k_{ms} L^{1,1}_R$ cm ²	
Bar keel thickness, if fitted	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,6L_R + 6)$ mm	See Note 2

Single bottom structure		
Centre girder web thickness	$\sqrt{k_{ms}} (\sqrt{L_R} + 1)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Side girder web thickness	$\sqrt{(k_{ms} L_R)}$ mm	$\geq 3,5\omega$
Floor web thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,03L_R + 3,5)$ mm	$\geq 3,5\omega$
Centreline girder face flat area	$\omega 0,5L_R k_{ms}$ cm ²	
Floor face flat area	$4,5T k_{ms} \left(1 - \frac{2,5}{B}\right)$ cm ²	See Note 3
Depth of floors, d_f	$35(1,6B + T) - 75$ mm	
Double bottom structure		
Inner bottom plating thickness	$\sqrt{k_{ms}} (0,4\sqrt{L_R} + 1,5)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Centreline girder web thickness	$\sqrt{k_{ms}} (0,9\sqrt{L_R} + 1)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Side girder web thickness	$\sqrt{k_{ms}} 0,72 \sqrt{L_R}$ mm	$\geq 3,5\omega$
Floor web thickness	$\sqrt{k_{ms}} (0,03L_R + 3,5)$ mm	$\geq 3,5\omega$
Depth of double bottom, d_{DB}	$28B + 205\sqrt{T}$ mm	≥ 630
Watertight bulkheads		
Plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,33\sqrt{L_R} + 1,0)$ mm	$\geq 3,5\omega$
Deep tank bulkheads		
Plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,38\sqrt{L_R} + 1,2)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Deck structure		
Strength deck	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,38\sqrt{L_R} + 1,2)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Internal and lower decks	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,18\sqrt{L_R} + 1,7)$ mm	$\geq 3,0\omega$
Exposed deck plating thickness, fwd of $0,75L_R$	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,015L_R + 5,5)$ mm	$\geq 5,0\omega$
Exposed deck plating thickness, aft of $0,75L_R$	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,38\sqrt{L_R} + 1,2)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Superstructure and deckhouses		
Deck plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,18\sqrt{L_R} + 1,7)$ mm	$\geq 3,0\omega$
Side plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,3\sqrt{L_R} + 1)$ mm	$\geq 3,0\omega$
Front plating thickness, fwd of $0,75L_R$	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,3\sqrt{L_R} + 2)$ mm	$\geq 5,0\omega$
Front plating thickness, aft of $0,75L_R$	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,25\sqrt{L_R} + 2)$ mm	$\geq 4,0\omega$
Back plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,25\sqrt{L_R} + 2)$ mm	$\geq 3,0\omega$
Machinery casing plating thickness	$\omega \sqrt{k_{ms}} (0,25\sqrt{L_R} + 2)$ mm	$\geq 3,0\omega$

12.- ANEXO III. PERFILES UTILIZADOS

Perfiles H de alas anchas

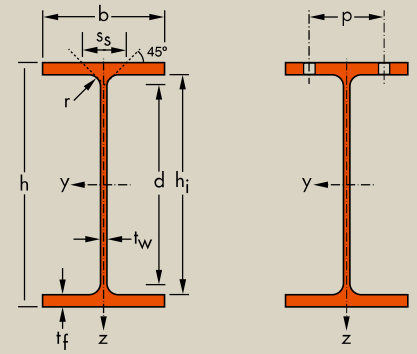
Dim.: HE A, HE B y HE M 100 - 1000 conforme a la norma anterior EU 53-62; HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$ conforme a ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C conforme a PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 conforme a la norma AM
 Tolerancias: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
 Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Profili H ad ali larghe

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 secondo il vecchio standard EU 53-62; HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$ secondo ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C secondo PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 secondo lo standard AM
 Tolleranze: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni						A mm ² x10 ²	Dimensiones de construcción Dimensions for detailing Dimensioni di dettaglio					Superficie Surface Superficie	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _C m ² /t
HE 100 AA*	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,553	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	33,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 C*	30,9	110	103	9	15	12	39,3	80	56	M 10	59	61	0,593	19,23
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA*	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,669	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	34,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 C*	39,2	130	123	9,5	16	12	49,9	98	74	M 12	63	72	0,712	18,19
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16
HE 140 AA*	18,1	128	140	4,3	6	12	23,0	116	92	M 16	64	76	0,787	43,53
HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,4	116	92	M 16	64	76	0,794	32,21
HE 140 B	33,7	140	140	7	12	12	43,0	116	92	M 16	66	76	0,805	23,88
HE 140 C*	48,2	150	143	10	17	12	61,5	116	92	M 16	69	79	0,831	17,22
HE 140 M	63,2	160	146	13	22	12	80,6	116	92	M 16	72	82	0,857	13,56
HE 160 AA*	23,8	148	160	4,5	7	15	30,4	134	104	M 20	76	84	0,901	37,81
HE 160 A	30,4	152	160	6	9	15	38,8	134	104	M 20	78	84	0,906	29,78
HE 160 B	42,6	160	160	8	13	15	54,3	134	104	M 20	80	84	0,918	21,56
HE 160 C*	59,2	170	163	11	18	15	75,4	134	104	M 20	84	88	0,944	15,95
HE 160 M	76,2	180	166	14	23	15	97,1	134	104	M 20	86	90	0,970	12,74
HE 180 AA*	28,7	167	180	5	7,5	15	36,5	152	122	M 24	84	92	1,018	35,51
HE 180 A	35,5	171	180	6	9,5	15	45,3	152	122	M 24	86	92	1,024	28,83
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	65,3	152	122	M 24	88	92	1,037	20,25
HE 180 C*	69,8	190	183	11,5	19	15	89,0	152	122	M 27	92	96	1,063	15,22
HE 180 M	88,9	200	186	14,5	24	15	113,3	152	122	M 24	94	98	1,089	12,25
HE 200 AA*	34,6	186	200	5,5	8	18	44,1	170	134	M 27	96	100	1,130	32,62
HE 200 A	42,3	190	200	6,5	10	18	53,8	170	134	M 27	98	100	1,136	26,89
HE 200 B	61,3	200	200	9	15	18	78,1	170	134	M 27	100	100	1,151	18,78
HE 200 C*	81,9	210	203	12	20	18	104,4	170	134	M 27	104	104	1,177	14,36
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131,3	170	134	M 27	106	106	1,203	11,67

* Pedido mínimo: para calidad S235 JR véase condiciones de suministro en pág. 222; para cualquier otra calidad 40 t o según acuerdo.
 * Tonelaje mínimo y condiciones de suministro previo acuerdo.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Ordine minimo: Per la qualità S235 JR vedere le condizioni di fornitura a pagina 222; per qualunque altra qualità: 40t o da concordare.
 * Tonnellaggio minimo e condizioni di fornitura da concordare.

Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I _y mm ⁴ x10 ⁴	W _{ely} mm ³ x10 ³	W _{ply} ♦ mm ³ x10 ³	i _y mm x10	A _{vz} mm ² x10 ²	I _z mm ⁴ x10 ⁴	W _{elz} mm ³ x10 ³	W _{plz} ♦ mm ³ x10 ³	i _z mm x10	s _s mm	I _t mm ⁴ x10 ⁴	I _w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 C	30,9	758,7	137,9	165,8	4,39	13,39	274,4	53,28	82,08	2,64	53,06	29,30	6,16	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 C	39,2	1388	213,6	252,9	5,27	15,91	497,7	80,92	124,2	3,16	55,56	40,96	16,12	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1033	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,62	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 C	48,2	2330	310,6	363,8	6,16	18,62	830,3	116,1	177,7	3,68	58,06	55,68	36,64	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,36	3,97	36,07	6,33	23,75	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 C	59,2	3704	435,8	507,6	7,01	24,05	1302	159,8	244,9	4,16	64,57	79,21	75,04	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	93,75	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 C	69,8	5543	583,5	675,0	7,89	27,30	1944	212,5	324,9	4,68	67,07	102,1	141,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 C	81,9	8029	764,7	880,6	8,77	32,78	2794	275,3	421,0	5,17	73,09	135,1	251,7	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 200 M	103	10640	967,4	1135	9,00	41,03	3651	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓

♦ W_{pl} para el diseño plástico la sección debe pertenecer a la clase 1 o 2 según la capacidad de rotación que se precise. Véase pág. 209.

♦ W_{pl} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.

♦ W_{pl} per il calcolo plástico, la sezione trasversale deve appartenere alla classe 1 o 2, conformemente alla capacità di rotazione richiesta. Vedere pagina 209.

Perfiles H de alas anchas (continúa)

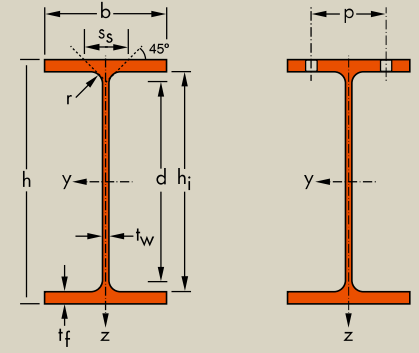
Dim.: HE A, HE B y HE M 100 - 1000 conforme a la norma anterior EU 53-62; HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$ conforme a ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C conforme a PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 conforme a la norma AM
 Tolerancias: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
 Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Profili H ad ali larghe (continua)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 secondo il vecchio standard EU 53-62; HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$ secondo ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C secondo PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 secondo lo standard AM
 Tolleranze: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 con $G_{HE} > G_{HEM}$
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni						A mm ² x10 ²	Dimensiones de construcción Dimensions for detailing Dimensioni di dettaglio					Superficie Surface Superficie	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _C m ² /t
HE 220 AA*	40,4	205	220	6	8,5	18	51,5	188	152	M 27	98	118	1,247	30,87
HE 220 A	50,5	210	220	7	11	18	64,3	188	152	M 27	98	118	1,255	24,85
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	91,0	188	152	M 27	100	118	1,270	17,77
HE 220 C*	94,1	230	223	12,5	21	18	119,9	188	152	M 27	104	122	1,296	13,77
HE 220 M	117	240	226	15,5	26	18	149,4	188	152	M 27	108	124	1,322	11,27
HE 240 AA*	47,4	224	240	6,5	9	21	60,4	206	164	M 27	104	138	1,359	28,67
HE 240 A	60,3	230	240	7,5	12	21	76,8	206	164	M 27	104	138	1,369	22,70
HE 240 B	83,2	240	240	10	17	21	106,0	206	164	M 27	108	138	1,384	16,63
HE 240 C*	119	255	244	14	24,5	21	152,2	206	164	M 27	112	142	1,422	11,90
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199,6	206	164	M 27	116	146	1,460	9,318
HE 260 AA*	54,1	244	260	6,5	9,5	24	69,0	225	177	M 27	110	158	1,474	27,22
HE 260 A	68,2	250	260	7,5	12,5	24	86,8	225	177	M 27	110	158	1,484	21,77
HE 260 B	93,0	260	260	10	17,5	24	118,4	225	177	M 27	114	158	1,499	16,12
HE 260 C*	132	275	264	14	25	24	168,4	225	177	M 27	118	162	1,537	11,63
HE 260 M	172	290	268	18	32,5	24	219,6	225	177	M 27	122	166	1,575	9,133
HE 280 AA*	61,2	264	280	7	10	24	78,0	244	196	M 27	110	178	1,593	26,01
HE 280 A	76,4	270	280	8	13	24	97,3	244	196	M 27	112	178	1,603	20,99
HE 280 B	103	280	280	10,5	18	24	131,4	244	196	M 27	114	178	1,618	15,69
HE 280 C*	145	295	284	14,5	25,5	24	185,2	244	196	M 27	118	182	1,656	11,39
HE 280 M	189	310	288	18,5	33	24	240,2	244	196	M 27	122	186	1,694	8,984
HE 300 AA*	69,8	283	300	7,5	10,5	27	88,9	262	208	M 27	116	198	1,705	24,42
HE 300 A	88,3	290	300	8,5	14	27	112,5	262	208	M 27	118	198	1,717	19,43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	149,1	262	208	M 27	120	198	1,732	14,80
HE 300 C*	177	320	305	16	29	27	225,1	262	208	M 27	126	204	1,782	10,08
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303,1	262	208	M 27	132	208	1,832	7,699
HE 320 AA*	74,2	301	300	8	11	27	94,6	279	225	M 27	118	198	1,740	23,43
HE 320 A	97,6	310	300	9	15,5	27	124,4	279	225	M 27	118	198	1,756	17,98
HE 320 B	127	320	300	11,5	20,5	27	161,3	279	225	M 27	122	198	1,771	13,98
HE 320 C*	186	340	305	16	30,5	27	236,9	279	225	M 27	126	204	1,822	9,796
HE 320 M	245	359	309	21	40	27	312,0	279	225	M 27	132	204	1,866	7,616

· Pedido mínimo: para calidad S235 JR véase condiciones de suministro en pág. 222; para cualquier otra calidad 40 t o según acuerdo.
 * Tonelaje mínimo y condiciones de suministro previo acuerdo.

· Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
 * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

· Ordine minimo: Per la qualità S235 JR vedere le condizioni di fornitura a pagina 222; per qualunque altra qualità: 40t o da concordare.
 * Tonnellaggio minimo e condizioni di fornitura da concordare.

Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I _y mm ⁴ x10 ⁴	W _{ely} mm ³ x10 ³	W _{ply} ♦ mm ³ x10 ³	i _y mm x10	A _{vz} mm ² x10 ²	I _z mm ⁴ x10 ⁴	W _{elz} mm ³ x10 ³	W _{plz} ♦ mm ³ x10 ³	i _z mm x10	s _s mm	I _t mm ⁴ x10 ⁴	I _w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 220 AA	40,4	4170	406,9	445,5	9,00	17,63	1510	137,3	209,3	5,42	44,09	15,93	145,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 220 A	50,5	5410	515,2	568,5	9,17	20,67	1955	177,7	270,6	5,51	50,09	28,46	193,3	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 220 B	71,5	8091	735,5	827,0	9,43	27,92	2843	258,5	393,9	5,59	62,59	76,57	295,4	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 C	94,1	11180	972,2	1114	9,65	36,47	3888	348,7	532,4	5,69	75,59	168,2	423,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 220 M	117	14600	1217	1419	9,89	45,31	5012	443,5	678,6	5,79	88,59	315,3	572,7	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 240 AA	47,4	5835	521,0	570,6	9,83	21,54	2077	173,1	264,4	5,87	49,10	22,98	239,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 240 A	60,3	7763	675,1	744,6	10,05	25,18	2769	230,7	351,7	6,00	56,10	41,55	328,5	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 240 B	83,2	11260	938,3	1053	10,31	33,23	3923	326,9	498,4	6,08	68,60	102,7	486,9	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 C	119	17330	1359	1564	10,67	46,35	5942	487,1	743,8	6,25	87,60	288,7	787,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 240 M	157	24290	1799	2117	11,03	60,07	8153	657,5	1006	6,39	106,6	627,9	1152	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 260 AA	54,1	7981	654,1	714,5	10,76	24,75	2788	214,5	327,7	6,36	53,62	30,31	382,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 260 A	68,2	10450	836,4	919,8	10,97	28,76	3668	282,1	430,2	6,50	60,62	52,37	516,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 260 B	93,0	14920	1148	1283	11,22	37,59	5135	395,0	602,2	6,58	73,12	123,8	753,7	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 260 C	132	22590	1643	1880	11,58	51,94	7680	581,8	888,3	6,75	92,12	336,4	1198	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 260 M	172	31310	2159	2524	11,94	66,89	10450	779,7	1192	6,90	111,1	719,0	1728	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 AA	61,2	10560	799,8	873,1	11,63	27,52	3664	261,7	399,4	6,85	55,12	36,22	590,1	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 280 A	76,4	13670	1013	1112	11,86	31,74	4763	340,2	518,1	7,00	62,12	62,10	785,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12,11	41,09	6595	471,0	717,6	7,09	74,62	143,7	1130	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 C	145	28810	1953	2225	12,47	56,26	9750	686,6	1047	7,26	93,62	382,5	1768	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 280 M	189	39550	2551	2966	12,83	72,03	13160	914,1	1397	7,40	112,6	807,3	2520	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 AA	69,8	13800	975,6	1065	12,46	32,37	4734	315,6	482,3	7,30	60,13	49,35	877,2	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 300 A	88,3	18260	1260	1383	12,74	37,28	6310	420,6	641,2	7,49	68,13	85,17	1200	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 300 B	117	25170	1678	1869	12,99	47,43	8563	570,9	870,1	7,58	80,63	185,0	1688	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 C	177	40950	2559	2927	13,49	68,48	13736	900,7	1374	7,81	105,6	598,3	2903	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 300 M	238	59200	3482	4078	13,98	90,53	19400	1252	1913	8,00	130,6	1408	4386	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 AA	74,2	16450	1093	1196	13,19	35,40	4959	330,6	505,7	7,24	61,63	55,87	1041	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 320 A	97,6	22930	1479	1628	13,58	41,13	6985	465,7	709,7	7,49	71,63	108,0	1512	1	2	3	1	2	3	✓	HI	HI
HE 320 B	127	30820	1926	2149	13,82	51,77	9239	615,9	939,1	7,57	84,13	225,1	2069	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 C	186	48710	2865	3274	14,34	72,25	14446	947	1445	7,81	108,6	679,1	3454	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 320 M	245	68130	3796	4435	14,78	94,85	19710	1276	1951	7,95	132,6	1501	5004	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

♦ W_{pl,y} para el diseño plástico la sección debe pertenecer a la clase 1 o 2 según la capacidad de rotación que se precise. Véase pág. 209.
 ♦ W_{pl,z} for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 ♦ W_{pl,z} per di calcolo plastico, la sezione trasversale deve appartenere alla classe 1 o 2, conformemente alla capacità di rotazione richiesta. Vedere pagina 209.

Perfiles angulares de lados iguales[▼] (continúa)

Dimensiones: EN 10056-1: 1998

Tolerancias: EN 10056-2: 1994

Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

Equal leg angles[▼] (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1994

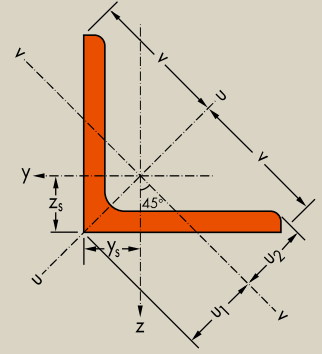
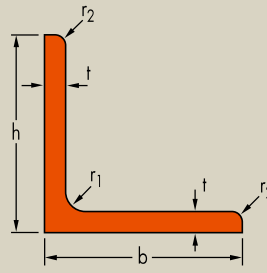
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Angolari a lati uguali[▼] (continua)

Dimensioni: EN 10056-1: 1998

Tolleranze: EN 10056-2: 1994

Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni					A mm ² x10 ²	Posición de los ejes Position of axes Posizione degli assi				Superficie Surface Superficie	
	G kg/m	h=b mm	t mm	r ₁ mm	r ₂ mm		z _s =y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _C m ² /t
L 180 x 180 x 13 ^{+/-x}	35,7	180	13	18	9,0	45,5	4,90	12,73	6,93	6,35	0,705	19,74
L 180 x 180 x 14 ^{+/-x}	38,3	180	14	18	9,0	48,8	4,94	12,73	6,99	6,36	0,705	18,40
L 180 x 180 x 15 ^{+/-x}	40,9	180	15	18	9,0	52,1	4,98	12,73	7,05	6,37	0,705	17,23
L 180 x 180 x 16 ^{+/-x}	43,5	180	16	18	9,0	55,4	5,02	12,73	7,10	6,38	0,705	16,20
L 180 x 180 x 17 ^{+/-x}	46,0	180	17	18	9,0	58,7	5,06	12,73	7,16	6,40	0,705	15,30
L 180 x 180 x 18 ^{+/-x}	48,6	180	18	18	9,0	61,9	5,10	12,73	7,22	6,41	0,705	14,50
L 180 x 180 x 19 ^{+/-x}	51,1	180	19	18	9,0	65,1	5,14	12,73	7,27	6,42	0,705	13,78
L 180 x 180 x 20 ^{+/-x}	53,7	180	20	18	9,0	68,3	5,18	12,73	7,33	6,44	0,705	13,13
L 200 x 200 x 15 ^{+/-x}	45,6	200	15	18	9,0	58,1	5,48	14,14	7,75	7,08	0,785	17,20
L 200 x 200 x 16 ^{+/-x}	48,5	200	16	18	9,0	61,8	5,52	14,14	7,81	7,09	0,785	16,18
L 200 x 200 x 17 ^{+/-x}	51,4	200	17	18	9,0	65,5	5,56	14,14	7,87	7,10	0,785	15,27
L 200 x 200 x 18 ^{+/-x}	54,2	200	18	18	9,0	69,1	5,60	14,14	7,93	7,12	0,785	14,46
L 200 x 200 x 19 ^{+/-x}	57,1	200	19	18	9,0	72,7	5,64	14,14	7,98	7,13	0,785	13,74
L 200 x 200 x 20 ^{+/-x}	59,9	200	20	18	9,0	76,3	5,68	14,14	8,04	7,15	0,785	13,09
L 200 x 200 x 21 ^{+/-x}	62,8	200	21	18	9,0	79,9	5,72	14,14	8,09	7,16	0,785	12,50
L 200 x 200 x 22 ^{+/-x}	65,6	200	22	18	9,0	83,5	5,76	14,14	8,15	7,18	0,785	11,97
L 200 x 200 x 23 ^{+/-x}	68,3	200	23	18	9,0	87,1	5,80	14,14	8,20	7,19	0,785	11,48
L 200 x 200 x 24 ^{+/-x}	71,1	200	24	18	9,0	90,6	5,84	14,14	8,26	7,21	0,785	11,03
L 200 x 200 x 25 ^{+/-x}	73,9	200	25	18	9,0	94,1	5,88	14,14	8,31	7,23	0,785	10,62
L 200 x 200 x 26 ^{+/-x}	76,6	200	26	18	9,0	97,6	5,91	14,14	8,36	7,25	0,785	10,24
L 250 x 250 x 20 ⁺	75,6	250	20	18	9,0	96,3	6,93	17,68	9,81	8,91	0,985	13,02
L 250 x 250 x 21 ⁺	79,2	250	21	18	9,0	101	6,97	17,68	9,86	8,93	0,985	12,43
L 250 x 250 x 22 ⁺	82,8	250	22	18	9,0	106	7,01	17,68	9,92	8,94	0,985	11,89
L 250 x 250 x 23 ⁺	86,4	250	23	18	9,0	110	7,05	17,68	9,97	8,96	0,985	11,40
L 250 x 250 x 24 ⁺	90,0	250	24	18	9,0	115	7,09	17,68	10,03	8,98	0,985	10,95
L 250 x 250 x 25 ⁺	93,5	250	25	18	9,0	119	7,13	17,68	10,08	8,99	0,985	10,53
L 250 x 250 x 26 ⁺	97,0	250	26	18	9,0	124	7,17	17,68	10,13	9,01	0,985	10,15
L 250 x 250 x 27 ⁺	101	250	27	18	9,0	128	7,20	17,68	10,19	9,03	0,985	9,79
L 250 x 250 x 28 ^{+/-}	104	250	28	18	9,0	133	7,24	17,68	10,24	9,04	0,985	9,47
L 250 x 250 x 35 ^{+/-}	128	250	35	18	9,0	163	7,50	17,68	10,61	9,17	0,985	7,69

- ▼ Otras dimensiones previa solicitud. Según el proceso de laminación el radio r₂ puede tener dimensiones inferiores.
- * Tonelaje mínimo y condiciones de suministro previo acuerdo.
- + Pedido mínimo: 40 t por perfil y calidad o según acuerdo.
- Perfil conforme a EN 10056-1: 1998.
- ▲ Perfil conforme a DIN 1028: 1994.
- ▶ Perfil conforme a CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Disponible con aristas vivas.
- x Perfil S460M disponible previa solicitud

- ▼ Other dimensions on request. The r₂ radius may be smaller depending on the rolling process.
- * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
- + Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.
- ▲ Section in accordance with DIN 1028: 1994.
- ▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Available with sharp edges.
- x Section available in S460M upon agreement.

- ▼ Dimensioni di dettaglio disponibili su richiesta. Il raggio r₂ può essere minore a seconda del processo di laminazione.
- * Tonnellaggio minimo e condizioni di fornitura da concordare.
- + Ordine minimo: 40t per sezione e qualità o da concordare.
- Sezione conforme a EN 10056-1: 1998.
- ▲ Sezione conforme a DIN 1028: 1994.
- ▶ Sezione conforme a CSN 42 5541: 1974.
- ▲ Disponibile con spigoli vivi.
- x Sezione S460M disponibile su richiesta.



Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo								Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	eje y-y / eje z-z axis y-y / axis z-z asse y-y / asse z-z			eje u-u axis u-u asse u-u		eje v-v axis v-v asse v-v		Pure compression							
	G	$I_y = I_z$	$W_{ely} = W_{elz}$	$i_y = i_z$	I_u	i_u	I_v	i_v	I_{yz}	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴							
L 180 x 180 x 13	35,7	1396	106,5	5,54	2220	6,99	571,7	3,55	-824,4	3	3	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 14	38,3	1493	114,3	5,53	2375	6,98	611,4	3,54	-881,8	3	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 15	40,9	1589	122,0	5,52	2527	6,96	650,6	3,53	-938,0	2	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 16	43,5	1682	129,7	5,51	2675	6,95	689,4	3,53	-993,0	2	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 17	46,0	1775	137,2	5,50	2822	6,94	727,9	3,52	-1047	1	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 18	48,6	1866	144,7	5,49	2965	6,92	766,0	3,52	-1100	1	2	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 19	51,1	1955	152,1	5,48	3106	6,91	803,8	3,51	-1151	1	2	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 20	53,7	2043	159,4	5,47	3244	6,89	841,3	3,51	-1202	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 15	45,6	2209	152,2	6,17	3516	7,78	903,0	3,94	-1306	3	3	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 16	48,5	2341	161,7	6,16	3725	7,76	957,2	3,94	-1384	3	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 17	51,4	2472	171,2	6,14	3932	7,75	1011	3,93	-1461	2	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 18	54,2	2600	180,6	6,13	4135	7,74	1064	3,92	-1535	2	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 19	57,1	2726	189,9	6,12	4335	7,72	1117	3,92	-1609	1	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 20	59,9	2851	199,1	6,11	4532	7,70	1169	3,91	-1681	1	2	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 21	62,8	2973	208,2	6,10	4725	7,69	1221	3,91	-1752	1	2	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 22	65,6	3094	217,3	6,09	4915	7,67	1273	3,90	-1821	1	1	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 23	68,3	3213	226,3	6,08	5102	7,66	1324	3,90	-1889	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 24	71,1	3331	235,2	6,06	5286	7,64	1375	3,90	-1955	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 25	73,9	3446	244,0	6,05	5467	7,62	1426	3,89	-2020	1	1	1	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 26	76,6	3560	252,7	6,04	5644	7,61	1476	3,89	-2084	1	1	1	✓	✓	✓
L 250 x 250 x 20	75,6	5743	317,9	7,72	9144	9,74	2341	4,93	-3401	3	3		✓		
L 250 x 250 x 21	79,2	5997	332,7	7,71	9548	9,73	2447	4,92	-3550	3	3		✓		
L 250 x 250 x 22	82,8	6249	347,4	7,70	9946	9,71	2552	4,92	-3697	2	3		✓		
L 250 x 250 x 23	86,4	6497	362,0	7,68	10339	9,69	2655	4,91	-3842	2	3		✓		
L 250 x 250 x 24	90,0	6743	376,5	7,67	10727	9,68	2759	4,91	-3984	1	3		✓		
L 250 x 250 x 25	93,5	6986	390,9	7,66	11110	9,66	2861	4,90	-4124	1	3		✓		
L 250 x 250 x 26	97,0	7226	405,2	7,65	11488	9,64	2963	4,90	-4262	1	2		✓		
L 250 x 250 x 27	101	7463	419,3	7,63	11861	9,62	3065	4,89	-4398	1	2		✓		
L 250 x 250 x 28	104	7697	433,4	7,62	12229	9,61	3166	4,89	-4532	1	1		✓		
L 250 x 250 x 35	128	9264	529,4	7,54	14668	9,48	3859	4,86	-5405	1	1		✓		

Perfiles angulares de lados desiguales[▼] (continúa)

Dimensiones: EN 10056-1: 1998

Tolerancias: EN 10056-2: 1994

Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

Unequal leg angles[▼] (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1994

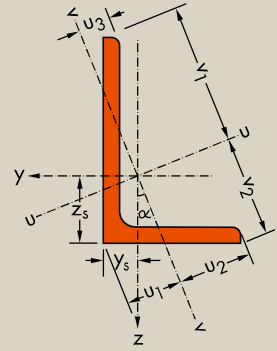
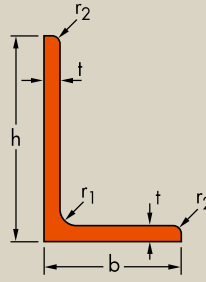
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Angolari a lati diseguali[▼] (continua)

Dimensioni: EN 10056-1: 1998

Tolleranze: EN 10056-2: 1994

Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni						A	Posición de los ejes Position of axes Posizione degli assi							Superficie Surface Superficie	
	h	b	t	r ₁	r ₂	A		z _s	y _s	v ₁	v ₂	u ₁	u ₂	u ₃	A _L	A _C
G kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m ² /m	m ² /t
L 150 x 75 x 9 ^{*/-}	15,4	150	75	9	12	6,0	19,6	5,26	1,57	9,82	6,59	2,85	4,41	1,61	0,440	28,59
L 150 x 75 x 10 ^{*/-}	17,0	150	75	10	12	6,0	21,7	5,31	1,61	9,78	6,62	2,90	4,39	1,65	0,440	25,87
L 150 x 75 x 11 [*]	18,6	150	75	11	12	6,0	23,7	5,35	1,65	9,75	6,65	2,95	4,37	1,68	0,440	23,64
L 150 x 75 x 12 ^{*/-}	20,2	150	75	12	12	6,0	25,7	5,40	1,69	9,72	6,68	2,99	4,36	1,72	0,440	21,78
L 150 x 90 x 10 ^{+/-/x}	18,2	150	90	10	12	6,0	23,2	5,00	2,04	10,10	7,07	3,61	4,97	2,20	0,470	25,84
L 150 x 90 x 11 ^{+/-/x}	19,9	150	90	11	12	6,0	25,3	5,04	2,08	10,07	7,09	3,66	4,95	2,23	0,470	23,61
L 150 x 90 x 12 ^{+/-/x}	21,6	150	90	12	12	6,0	27,5	5,08	2,12	10,05	7,11	3,71	4,94	2,26	0,470	21,75
L 150 x 90 x 15 ^{+/-/x}	26,6	150	90	15	12	6,0	33,9	5,21	2,23	9,98	7,17	3,84	4,92	2,36	0,470	17,65
L 150 x 100 x 10 ^{+/-/x}	19,0	150	100	10	12	6,0	24,2	4,81	2,34	10,27	7,48	4,08	5,25	2,64	0,490	25,83
L 150 x 100 x 12 ^{+/-/x}	22,5	150	100	12	12	6,0	28,7	4,90	2,42	10,23	7,52	4,18	5,23	2,70	0,490	21,72
L 150 x 100 x 14 ^{+/-/x}	26,1	150	100	14	12	6,0	33,2	4,98	2,50	10,19	7,55	4,28	5,22	2,75	0,490	18,79
L 200 x 100 x 10 ^{+/-/x}	23,0	200	100	10	15	7,5	29,2	6,93	2,01	13,15	8,74	3,72	5,94	2,09	0,587	25,58
L 200 x 100 x 12 ^{+/-/x}	27,3	200	100	12	15	7,5	34,8	7,03	2,10	13,08	8,81	3,82	5,89	2,17	0,587	21,49
L 200 x 100 x 14 ^{+/-/x}	31,6	200	100	14	15	7,5	40,3	7,12	2,18	13,01	8,86	3,91	5,85	2,24	0,587	18,57
L 200 x 100 x 15 ^{+/-/x}	33,7	200	100	15	15	7,5	43,0	7,16	2,22	12,98	8,89	3,95	5,84	2,27	0,587	17,40

- ▼ Otras dimensiones previa solicitud. Según el proceso de laminación el radio r₂ puede tener dimensiones inferiores.
- * Tonelaje mínimo y condiciones de suministro previo acuerdo.
- + Pedido mínimo: 40 t por perfil y calidad o según acuerdo.
- Perfil conforme a EN 10056-1: 1998.
- * Perfil conforme a DIN 1029: 1994
- ▶ Perfil conforme a CSN 42 5541: 1974.
- x Perfil S460M disponible previa solicitud.

- ▼ Other dimensions on request. The r₂ radius may be smaller depending on the rolling process.
- * Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
- + Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.
- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.
- * Perfil conforme a DIN 1029: 1994
- ▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.
- x Section available in S460M upon agreement.

- ▼ Dimensioni di dettaglio disponibili su richiesta. Il raggio r₂ può essere minore a seconda del processo di laminazione.
- * Tonnellaggio minimo e condizioni di fornitura da concordare.
- + Ordine minimo: 40t per sezione e qualità o da concordare.
- Sezione conforme a EN 10056-1: 1998.
- * Sezione conforme a DIN 1028: 1994
- ▶ Sezione conforme a CSN 42 5541: 1974.
- x Sezione S460M disponibile su richiesta.



Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo												Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	eje y-y axis y-y asse y-y			eje z-z axis z-z asse z-z			eje u-u axis u-u asse u-u		eje v-v axis v-v asse v-v		Pure compression								
	G	I _y	W _{ely}	i _y	I _z	W _{elz}	i _z	I _u	i _u	I _v	i _v	I _{yz}	α	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	°							
L 150 x 75 x 9	15,4	455,2	46,74	4,82	77,91	13,14	1,99	483,2	4,97	49,95	1,60	-106,4	14,72	3	4		✓		
L 150 x 75 x 10	17,0	500,6	51,65	4,81	85,37	14,50	1,99	531,1	4,95	54,87	1,59	-116,6	14,66	3	4		✓		
L 150 x 75 x 11	18,6	545,0	56,49	4,80	92,57	15,83	1,98	577,9	4,94	59,70	1,59	-126,3	14,59	3	3		✓		
L 150 x 75 x 12	20,2	588,4	61,27	4,78	99,55	17,14	1,97	623,5	4,92	64,45	1,58	-135,6	14,51	3	3		✓		
L 150 x 90 x 10	18,2	533,1	53,29	4,80	146,1	20,98	2,51	591,3	5,05	87,93	1,95	-160,9	19,87	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 90 x 11	19,9	580,7	58,30	4,79	158,7	22,91	2,50	643,7	5,04	95,70	1,94	-174,7	19,81	3	3	4	✓	✓	✓
L 150 x 90 x 12	21,6	627,3	63,25	4,77	170,9	24,82	2,49	694,8	5,03	103,4	1,94	-188,1	19,75	3	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 90 x 15	26,6	761,1	77,70	4,74	205,5	30,36	2,46	840,9	4,98	125,7	1,93	-225,2	19,51	1	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 10	19,0	552,6	54,23	4,78	198,5	25,92	2,87	637,3	5,14	113,8	2,17	-192,8	23,72	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 12	22,5	650,5	64,38	4,76	232,6	30,69	2,85	749,3	5,11	133,9	2,16	-225,9	23,61	3	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 100 x 14	26,1	744,4	74,27	4,74	264,9	35,32	2,82	855,9	5,08	153,4	2,15	-256,8	23,48	1	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 10	23,0	1219	93,24	6,46	210,3	26,33	2,68	1294	6,65	134,5	2,14	-286,8	14,82	4	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 12	27,3	1440	111,0	6,43	247,2	31,28	2,67	1529	6,63	158,5	2,13	-337,3	14,74	3	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 14	31,6	1654	128,4	6,41	282,2	36,08	2,65	1755	6,60	181,7	2,12	-384,8	14,65	3	4	4	✓	✓	✓
L 200 x 100 x 15	33,7	1758	137,0	6,40	299,1	38,44	2,64	1865	6,59	193,1	2,12	-407,4	14,59	3	3	4	✓	✓	✓