



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2021/22

*BUQUE TANKER LNG 140000 m³ Y DISEÑO DE UNA
PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON
TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO*

Número 2122-TFG-73

**Programa de simultaneidad de ingeniería naval y oceánica e
ingeniería mecánica**

ALUMNA/O

Marina de la Peña Herrero

TUTORAS/ES

Pablo Fariñas Alvariño

Alberto Arce Ceinos

FECHA

2022



BUQUE TANKER LNG 140000 M3 Y DISEÑO DE UNA PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO. RESUMEN

En primer lugar, se desarrollará el proyecto de un buque tanker LNG. La particularidad de este buque es su carga, ya que requieren unas características muy concretas, debido a su temperatura, presión y flash point.

Una vez completado el proyecto de diseño del tanker de LNG, se desarrollará el diseño de una planta de potencia para la propulsión del buque, que se estima en un mínimo de 25 MW, basada en turbina de gas regenerativa empleando el propio LNG transportado como combustible. Esta turbina de gas regenerativa operará con dos compresores con una etapa de enfriamiento entre ambas compresiones y los gases de escape calientes se emplearán para precalentar el aire comprimido antes de entrar en la cámara de combustión.

En el diseño de esta planta de potencia se dimensionarán tanto en enfriador con agua de mar como del intercambiador gases-aire. Se compararán los resultados obtenidos en función de cómo los parámetros de diseño (relación de compresión, temperatura máxima, caudal de aire...) afecten a la eficiencia térmica de la planta. La comparación con turbina de gas simple y motor diésel se llevará a cabo en términos de eficiencia, coste y emisiones, estableciéndose las posibles ventajas e inconvenientes.



ESCOLA POLITÉCNICA DE ENXEÑARÍA DE FERROL
UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

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

***BUQUE TANKER LNG 140000 m³ Y DISEÑO DE UNA
PLANTA GENERADORA DE POTENCIA CON
TURBINA DE GAS Y CICLO REGENERATIVO***

Número 2122-TFG-73

**Programa de simultaneidad de ingeniería naval y oceánica e
ingeniería mecánica**

**CUADERNO 8
DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE**

ÍNDICE

<i>Buque tanker LNG 140000 m3 y diseño de una planta generadora de potencia con turbina de gas y ciclo regenerativo. Resumen.....</i>	2
<i>Índice</i>	4
<i>Requisitos previos de operación. RPA.....</i>	6
<i>Parámetros de forma del buque.....</i>	7
<i>Introducción</i>	8
1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	9
2 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO	11
2.1 Eslora de escantillonado	11
2.2 Manga de escantillonado	12
2.3 Puntal de escantillonado	12
2.4 Calado de escantillonado	13
2.5 Desplazamiento.....	13
2.6 Coeficiente de bloque	13
2.7 Recopilación.....	13
3 PARÁMETROS PRINCIPALES.....	14
3.1 Cálculo parámetros de olas	14
3.2 Cálculo momentos flectores.....	15
3.2.1 Momentos generados por olas.....	15
3.2.1 Momentos en aguas tranquilas	15
3.3 Cálculo fuerzas cortantes	16
3.4 Margen de corrosión aplicable	16
4 CÁLCULO DE PRESIONES	18
4.1 Presiones en la chapa de fondo	18
4.2 Presiones en la chapa de costado	21
4.3 Presiones en la chapa del doble fondo	23
4.4 Presiones en la chapa de pantoque	25
4.5 Presiones en la chapa de la cubierta principal.....	27
5 ESCANTILLONADO.....	29
5.1 Escantillonado de los elementos de fondo.....	31
4.3Escantillonado de los elementos de doble fondo	33

5.4 Escantillonado de los elementos de Cubierta.....	34
5.5 Escantillonado de los elementos de Costado	35
5.5.1 Bajo la cubierta del francobordo	35
5.5.2 Encima de la cubierta de francobordo	37
5.6 Escantillonado de chapa pantoque.....	38
6 REFUERZOS PRIMARIOS	42
6.1 Espesor varengas.....	42
6.2 Espesor vagras.....	44
6.3 Espesor bulárcama	45
6.4 Espesor baos	47
7 REFUERZOS SECUNDARIOS.....	49
7.1 Refuerzos del fondo.....	49
7.2 Refuerzos de costados	50
7.3 Refuerzos de doble fondo	51
7.4 Refuerzos del pantoque	51
7.5 Refuerzos cubierta principal	52
8 REFUERZOS PRIMARIOS	53
8.1 Refuerzos en vagras.....	54
8.2 Refuerzos palmejares de costado.....	54
9 RESISTENCIA LONGITUDINAL.....	56
9.1 Cálculo de inercia y área de la cuaderna maestra.....	56
9.2 Inercia y área mínima	69
9.3 Comprobación de resultados	70
ANEXO I: Tabla perfiles comerciales de refuerzos	71
ANEXO II: Plano de la cuaderna maestra	73

REQUISITOS PREVIOS DE OPERACIÓN. RPA

Tipo de buque

Buque Transporte de LNG - 140000 m³

Clasificación y cotas

SOLAS, CIG, Bureau Veritas, MARPOL

Características de la carga

Tanques membrana

Velocidad y autonomía

Velocidad servicio de 17,2 nudos, 85% MCR 10 MM. Autonomía 10.000 millas

Propulsión

Diesel eléctrico

Tripulación y pasaje

28 Tripulantes

PARÁMETROS DE FORMA DEL BUQUE

A continuación, se muestra una tabla resumen con los valores de las dimensiones básicas obtenidas en cuadernos anteriores y que se utilizaran en el desarrollo de este documento:

Parámetro	Valor	Unidad
Displacement	109400	t
Volume (displaced)	106732,163	m ³
Draft Amidships	12,200	m
Immersed depth	12,200	m
WL Length	258,951	m
Beam max extents on WL	41,968	m
Wetted Area	14618,239	m ²
Max sect. area	499,723	m ²
Waterpl. Area	9449,625	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,825	
Block coeff. (Cb)	0,805	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,976	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,870	
LCB length	134,761	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	130,283	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	52,041	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	50,312	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	6,365	m
KG fluid	0,000	m
BMt	11,454	m
BML	395,501	m
GMt corrected	17,820	m
GML	401,866	m
KMt	17,820	m
KML	401,866	m
Immersion (TPc)	96,859	tonne/cm
MTc	1723,417	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	34022,836	tonne.m
Length:Beam ratio	6,170	
Beam:Draft ratio	3,440	
Length:Vol ^{0.333} ratio	5,459	
Precision	Medium	64 stations

INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento se define el escantillonado de los elementos por los que está compuesta la estructura del buque, para ello se comprueba que éstos resistan a los momentos de arrufo y de quebranto, dichos componentes son los siguientes:

- Chapas
- Elementos primarios
- Elementos secundarios

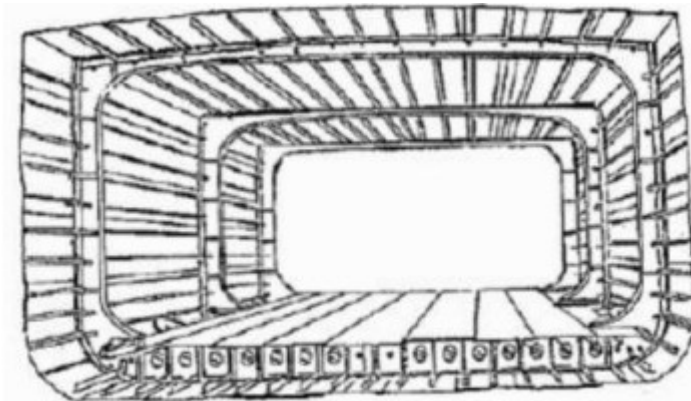
La normativa que se sigue para el cálculo es el reglamento Bureau Veritas.

1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Debido a que la eslora del buque es mayor que 200 metros, se ha decidido utilizar en el buque proyectado una estructura de tipo longitudinal para que la respuesta a las sollicitaciones del proyecto sean las adecuadas.

Este tipo de estructura indica que los refuerzos secundarios se colocan longitudinalmente y los refuerzos primarios se colocan transversalmente.

A continuación, se puede observar un esquema de una estructura longitudinal tipo:



El tipo de material utilizado en la estructura acero naval clase A. En la tabla siguiente se proporciona la tabla de los tipos de acero del reglamento (Bureau Veritas, NR216 “Materials and Weldings”, Chapter 2, section 1:

Table 4 : Normal strength steels - Mechanical properties

Steel grade	Yield stress R_{eH} (N/mm ²) min.	Tensile strength R_m (N/mm ²)	El. A_5 (%) min (1)	Average impact energy (J) min KVL longitudinal - KVT transverse - t = thickness (mm)						
				Test temp (°C)	t ≤ 50		50 < t ≤ 70		70 < t ≤ 100	
					KVL	KVT	KVL	KVT	KVL	KVT
A	235	400/520 (2)	22	+20			34	24	41	27
B	235	400/520	22	0	27	20	34	24	41	27
D	235	400/520	22	-20	27	20	34	24	41	27
E	235	400/520	22	-40	27	20	34	24	41	27

(1) El: elongation. For full thickness flat tensile test specimens with a width of 25 mm and a gauge length of 200mm, the elongation is to comply with the minimum values given for strength level 32 in Tab 8.
(2) For sections in grade A of all thicknesses, the upper limit for the specified tensile stress range may be exceeded up to a maximum of 540 N/mm².

El factor del material, “k”, se define de igual forma a través de la siguiente tabla:

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

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

A continuación, se muestra el espaciado entre los distintos elementos estructurales del buque proyectado, valores que serán utilizados a lo largo del documento para dimensionar dichos elementos:

- Separación entre longitudinales del doble fondo: 810 mm
- Separación entre longitudinales del pantoque: 840 mm
- Separación entre longitudinales del costado: 810 mm
- Separación entre longitudinales de la cubierta principal: 810 mm
- Separación entre varengas 2500 mm

2 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

En el reglamento Bureau Veritas (NR467 “Steel Ships”, Part B, Chapter 1, Section 2) se definen las dimensiones que se utilizarán en el cálculo del escantillonado.

2.1 Eslora de escantillonado

3.1 Rule length

3.1.1 The rule length L is the distance, in m, measured on the waterline at the scantling draught, from the fore-side of the stem to the after side of the rudder post, or to the centre of the rudder stock where there is no rudder post. L is to be not less than 96% and need not exceed 97% of the extreme length on the waterline at the scantling draught.

3.1.2 In ships without rudder stock (e.g. ships fitted with azimuth thrusters), the rule length L is to be taken equal to 97% of the extreme length on the waterline at the scantling draught.

3.1.3 In ships with unusual stem or stern arrangements, the rule length L is considered on a case by case basis.

3.1.4 Ends of rule length

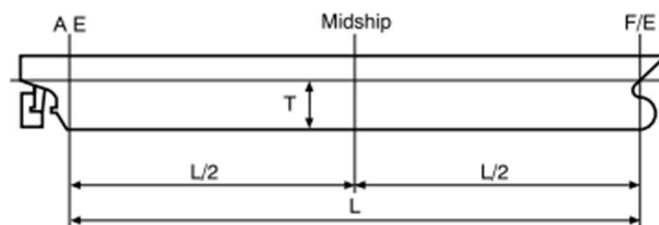
The fore end (FE) of the rule length L , see Fig 1, is the perpendicular to the summer load waterline at the forward side of the stem.

The aft end (AE) of the rule length L , see Fig 1, is the perpendicular to the summer load waterline at a distance L aft of the fore end.

3.1.5 Midship

The midship is the perpendicular to the scantling draught waterline at a distance $0,5L$ aft of the fore end.

Figure 1 : Ends and midship



Por tanto, la eslora de escantillonado será la máxima entre:

- El 96% de la eslora de flotación
- El mínimo entre la eslora entre perpendiculares o el 97% de la eslora en la flotación

Obteniendo estos datos de las tablas de hidrostáticas obtenidas en el cuaderno 3 que se presentó en el primer epígrafe del documento.

$$L_{Escantillonad} = \text{Min}(L_{PP}, 97\%L_{WL}) = \text{Min}(255,1, 97\% \text{ de } 258,95) = 251,2 \text{ m}$$

$$L_{Escantillona} = 96\%L_{WL} = 248,6 \text{ m}$$

Entre ambas esloras de escantillonado se escoge la mayor, resultando, por tanto:

$$L_{Escantillonado} = 251,2 \text{ m}$$

2.2 Manga de escantillonado

Siguiendo de nuevo el reglamento, el cual indica:

3.4 Moulded breadth

3.4.1 The moulded breadth B is the greatest moulded breadth, in m, measured amidships at the scantling draught T.

Utilizando de nuevo las tablas hidrostáticas del cuaderno 3, las cuales indican:

$$B_{Escantillonado} = B_{WL} = 41,9 \text{ m}$$

2.3 Puntal de escantillonado

El reglamento define:

3.6 Moulded depth

3.6.1 The moulded depth D_1 is the vertical distance measured from the top of the keel to the top of the freeboard deck beam at side. Where the form at the lower part of the midship section is of a hollow character or where thick garboards are fitted, the distance is measured from the point where the line of the flat of the bottom continued inwards cuts the side of the keel.

In ships having rounded gunwales, the moulded depth is to be measured to the point of intersection of the moulded lines of deck and sides, the lines extending as though the gunwales were of angular design.

Where the freeboard deck is stepped and the raised part of the deck extends over the point at which the moulded depth is to be determined, the moulded depth is to be measured to a line of reference extending from the lower part of the deck along a line parallel with the raised part.

El puntal de escantillonado coincide con el puntal de trazado del buque:

$$D_{Escantillonado} = 30 \text{ m}$$

2.4 Calado de escantillonado

3.7 Scantling draught

3.7.1 The scantling draught T is the distance, in m, measured vertically on the midship transverse section, from the moulded base line to the waterline at which the strength requirements for the scantlings of the ships are met. It represents the full load condition and is to be not less than that corresponding the assigned freeboard.

In the case of ships with a solid bar keel, the moulded base line is to be taken as defined in [3.5.1].

La sociedad de clasificación indica que el calado de escantillonado será el correspondiente del francobordo de verano, ya que nunca navegará a un calado mayor. Sin embargo, el caso del buque proyectado se trata de un buque de volumen, es decir, nos preocupa el volumen tomado por la carga, pero no su peso, en ningún caso nos acercaremos al calado de francobordo.

A pesar de ello, con el objetivo de garantizar la resistencia de la estructura, se define el calado de escantillonado como el calado en la condición de carga más desfavorable: llegada a puerto a plena carga. Este dato se encuentra en el cuaderno 5, donde se estudian las condiciones de carga.

$$T_{Escantillonado} = 12,3 \text{ m}$$

2.5 Desplazamiento

El desplazamiento corresponderá al de la condición de carga indicada anteriormente. Por tanto, observando de nuevo las tablas obtenidas en el cuaderno 5:

$$\Delta_{Escantillonado} = 110008 \text{ Toneladas}$$

2.6 Coeficiente de bloque

Utilizando las dimensiones calculadas anteriormente y aplicando la fórmula, el coeficiente de bloque resulta:

$$C_B = \frac{110008}{1,025 \times 251,2 \times 41,9 \times 12,3} = 0.829$$

2.7 Recopilación

En resumen, las dimensiones de escantillonado, las cuales se utilizarán en los cálculos del dimensionamiento de elementos estructurales:

Eslora de escantillonado	251,2 m
Manga de escantillonado	41,9 m
Puntal de escantillonado	30 m
Coeficiente de bloque	0.829
Calado de escantillonado	12,3 m
Desplazamiento escantillonado	110008 toneladas

3 PARÁMETROS PRINCIPALES

Se indican a continuación los coeficientes de navegación, los cuales se definen en la parte B, capítulo 5, Sección 1 del reglamento Bureau Veritas.

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

El buque proyectado no está restringido en cuanto a zonas de navegación. Por tanto, el coeficiente de navegación se toma como 1.

3.1 Cálculo parámetros de olas

Bureau Veritas, Part B, Chapter 5, Section 2, define:

C : Wave parameter:

$$C = (118 - 0,36L) \frac{L}{1000} \text{ for } 65\text{m} \leq L < 90\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5} \text{ for } 90\text{m} \leq L < 300\text{m}$$

$$C = 10,75 \text{ for } 300\text{m} \leq L \leq 350\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1,5} \text{ for } L > 350\text{m}$$

H : Wave parameter:

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

without being taken greater than 8,13.

Por lo tanto, teniendo el buque una eslora menos de 300 metros, los parámetros de olas resultan:

$$C = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5} = 10,75 - \left(\frac{300-251,2}{100}\right)^{1,5} = 10,4 \text{ m}$$

$$H = 8,13 - \left(\frac{250-0,7L}{125}\right)^3 = 8,13 - \left(\frac{250-0,7 \times 251,2}{125}\right)^3 = 7,9 \text{ m}$$

3.2 Cálculo momentos flectores

3.2.1 Momentos generados por olas

Los momentos flectores que generan las olas, para quebranto y arrufo se definen en Bureau Veritas, Part B, Chapter 5, Section 2:

- hogging conditions:

$$M_{WV,H} = 190 F_M n C L^2 B C_B 10^{-3}$$

- sagging conditions:

$$M_{WV,S} = -110 F_M n C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3}$$

Definiendo el factor F_M haciendo uso de la tabla siguiente:

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

Teniendo en cuenta que estamos analizando una cuaderna de la zona de carga, por tanto, la zona central del buque:

$$F_M = 1$$

3.2.1.1 Quebranto

$$M_{WV,H} = 190 \times 1 \times 1 \times 10,4 \times 251,2^2 \times 41,9 \times 0,829 \times 10^{-3} = 4331065,621 \text{ kN.m}$$

3.2.1.2 Arrufo

$$M_{WV,S} = -110 \times 1 \times 1 \times 10,4 \times 251,2^2 \times 41,9 \times (0,829 + 0,7) \times 10^{-3} = -4624734,473 \text{ kN.m}$$

3.2.1 Momentos en aguas tranquilas

- hogging conditions:

$$M_{SWM,H} = 175 n_1 C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{WV,H}$$

- sagging conditions:

$$M_{SWM,S} = 175 n_1 C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{WV,S}$$

Habiendo calculado con anterior todos los parámetros que influyen en las ecuaciones, resulta:

3.2.1.1 Quebranto

$$\begin{aligned} M_{SW,H} &= 175 \times 1 \times 10,4 \times 251,2^2 \times 41,9 \times (0,7 + 0,829) \times 10^{-3} - 4331065,621 \\ &= 3026466,5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

3.2.1.2 Arrufo

$$M_{SW_S} = 175 \times 1 \times 1 \times 10,4 \times 251,2^2 \times 41,9 \times (0,829 + 0,7) \times 10^{-3} - 4624734,473$$

$$= 2732797,6 \text{ kN.m}$$

3.3 Cálculo fuerzas cortantes

Se definen las fuerzas cortantes inducidas por olas. (BV Part B, Ch 5, Sec 2):

3.4.1 The vertical wave shear force at any hull transverse section is obtained, in kN, from the following formula:

$$Q_{WV} = 30 F_Q n C L B (C_B + 0,7) 10^{-2}$$

El parámetro desconocido se define en la tabla que se muestra a continuación:

Hull transverse section location	Distribution factor F_Q	
	Positive wave shear force	Negative wave shear force
$0 \leq x < 0,2 L$	$4,6A \frac{x}{L}$	$-4,6 \frac{x}{L}$
$0,2 L \leq x \leq 0,3 L$	$0,92 A$	$-0,92$
$0,3 L < x < 0,4 L$	$(9,2A - 7) \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) + 0,7$	$-2,2 \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) - 0,7$
$0,4 L \leq x \leq 0,6 L$	$0,7$	$-0,7$
$0,6 L < x < 0,7 L$	$3 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) + 0,7$	$-(10A - 7) \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) - 0,7$
$0,7 L \leq x \leq 0,85 L$	1	$-A$
$0,85 L < x \leq L$	$6,67 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$	$-6,67A \left(1 - \frac{x}{L}\right)$
Note 1:		
$A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0,7)}$		

Por tanto,

$$F_Q = \pm 0,7$$

Resultando los esfuerzos cortantes:

$$Q_{WV} = 30 \times F_Q \times n \times C \times L \times B \times (C_B + 0,7) \times 10^{-2}$$

$$= 30 \times \pm 0,7 \times 1 \times 10,4 \times 251,2 \times 41,9 \times (0,7 + 0,829) \times 10^{-2} = \pm 13339,5 \text{ kN}$$

3.4 Margen de corrosión aplicable

El margen de corrosión aplicable dependerá de con que fluido tengan contacto las chapas en cada caso. En el reglamento bureau Veritas, Part B, Chapter 4, Section 2 encontramos la siguiente información:

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

Compartment type		General (1)	Special cases
Ballast tank (2)		1,00	1,25 in upper zone (3)
Cargo oil tank and fuel oil tank (4) Independent or integral methanol fuel tank of ships with additional service feature methanol-fuel (5)	Plating of horizontal surfaces	0,75	1,00 in upper zone (3)
	Plating of non-horizontal surfaces	0,50	1,00 in upper zone (3)
	Ordinary stiffeners and primary supporting members	0,75	1,00 in upper zone (3)
Independent tank of ships with service notation liquefied gas carrier or LNG bunkering ship (6) Independent gas fuel tank of ships with the additional service feature LNGfuel , CNGfuel , LPGfuel or ammoniafuel (7)		0,00	
Cofferdam in cargo area of ships with the service notation liquefied gas carrier or LNG bunkering ship Cofferdam adjacent to the gas fuel tank on ships with the additional service feature LNGfuel , CNGfuel , LPGfuel or ammoniafuel		1,00	
Dry bulk cargo hold (8)	General	1,00	
	Inner bottom plating	1,75	
	Side plating for single hull ship		
	Inner side plating for double hull ship		
	Sloping stool plate of hopper tanks and lower stool		
Transverse bulkhead plating			
	Frames, ordinary stiffeners and primary supporting members	1,00	1,50 in lower zone (9)
Tanks for fresh water		0,50	
Tanks dedicated to water-based or oil-based process muds		1,25	
Tanks for drilling brines		1,25	
Moonpool		1,75	
Compartment located between independent tank and inner side of ships with the service notation asphalt carrier		1,00	
Hopper well of dredging ships		2,00	
Accommodation space (10)		0,00	
Compartments other than those mentioned above (10)		0,50	
Outside sea and air			

4 CÁLCULO DE PRESIONES

Las chapas a las que se les calculará las presiones que les afectan, las cuales se definieron anteriormente y, recordando: Chapa de fondo, chapa de costado, chapa de doble fondo y chapa de pantoque. Las presiones que afectan a estos elementos se enumeran a continuación junto con la parte de la normativa donde se definen:

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

En los siguientes apartados se muestra el cálculo de las presiones para cada caso.

4.1 Presiones en la chapa de fondo

- **Presión externa inducida por aguas tranquilas**

Se hace referencia a la Pt B, Ch 5, Sec 5 del reglamento:

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

Siendo la chapa considerada la del fondo, será $z = 0$, y resultando por tanto la presión por aguas tranquilas en la chapa del fondo:

$$P_{SW_{Fondo}} = 1,025 \times 9,81 \times (12,3 - 0) = 123,7 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión externa inducida por olas**

Haciendo referencia al mismo apartado del reglamento definido en el epígrafe anterior, se define la presión externa inducida por olas utilizando la siguiente tabla:

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

Location	Wave pressure p_w , in kN/m ²	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \varphi_1 \varphi_2 L$	0,0
Note 1: $h = C_{T1} h_1$ C_{T1} : Combination factor, to be taken equal to: <ul style="list-style-type: none"> • $C_{T1} = 1,0$ for load case "a" • $C_{T1} = 0,5$ for load case "b". 		

En la chapa del fondo, y en la cresta de ola, existe una presión que se define con la siguiente tabla:

$$P_{WBOTTOM} = \rho \times g \times h \times e^{\left(\frac{-2\pi(T-Z)}{L}\right)}$$

"h" se define en la siguiente tabla:

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

Estando definiendo la cuaderna maestra, el valor de "h" resulta:

$$h = 0.42 \times n \times C \times (C_B + 0.7)$$

Siendo C:

Wave parameter:

$$C = (118 - 0,36L) \frac{L}{1000} \text{ for } 65\text{m} \leq L < 90\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} \text{ for } 90\text{m} \leq L < 300\text{m}$$

$$C = 10,75 \text{ for } 300\text{m} \leq L \leq 350\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{L - 350}{150} \right)^{1,5} \text{ for } L > 350\text{m}$$

$$C = 10.45$$

Y "n" el coeficiente de navegación: $n = 1$

$$h = 6.7 \text{ m}$$

Por tanto, la presión en el fondo, es decir, para $Z=0$, producido por las olas resulta:

$$P_{WBOTTOM} = 91,8 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna en tanques por aguas tranquilas**

La chapa de fondo estará sometida a las cargas debidas a los tanques de lastre que están localizados en el doble fondo de la zona de carga. El cálculo se encuentra en la Parte B, capítulo 5, sección 6 del reglamento Bureau veritas.

Según indica el reglamento, se define:

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m^2 , from the following formulae:

$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m^2 , less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

ρ_L : Density, in t/m^3 , of the liquid carried

ρ_B : Density, in t/m^3 , of the dry bulk cargo carried; in certain cases, such as spoils, the water held by capillarity is to be taken into account

z_{TOP} : Z co-ordinate, in m, of the highest point of the tank in the z direction

z_L : Z co-ordinate, in m, of the highest point of the liquid:

$$z_L = z_{TOP} + 0,5 (z_{AP} - z_{TOP})$$

z_{AP} : Z co-ordinate, in m, of the top of air pipe, to be taken not less than z_{TOP}

p_{PV} : Design vapour pressure, in bar:

Where a pressure relief valve is fitted, p_{PV} is to be taken equal to:

- 1,1 times the safety valve setting pressure in general
- 1,0 times the safety valve setting pressure in case of liquefied gas cargo tank or liquefied gas fuel tank.

$$Z_L = 2,5 + 0,5(31 - 2,5) = 16,8 \text{ m}$$

Se escoge la mayor presión de las que se definen a continuación:

- $P_{s1} = 1.025 \times 9.81 \times 16,8 = 168.9 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 1.025 \times 9.81 \times 2,5 + 100 \times 1.1 = 135.1 \frac{kN}{m^2}$
- Además, el valor escogido no debe ser menor que:
- $P_{s3} = 1.025 \times 9.81 \times \left(\frac{0,8 \times 45}{420 -} \right) = 0.96 \frac{kN}{m^2}$

Por tanto, la presión interna inducida por tanques en aguas tranquilas resulta:

$$P_s = 168.9 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales**

Según se indica en el reglamento BV Pt B, Ch 5, Sec 6, para la condición de carga “a” no es preciso tener en cuenta las presiones inerciales.

- **Presión interna inducida en tanques por test**

The greater of the following:

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$$

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$$

$$p_{ST} = 10 (z_{BD} - z)$$

Siendo,

- $Z_{TOP} = 2,5 \text{ m}$
- $Z_{BD} = 23,5 \text{ m}$
- $D_{AP} = 28,5 \text{ m}$

Resultando,

$$P_{ST1} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 310 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST2} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 49 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 235 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, escogiendo el mayor valor de los calculados:

$$P_{ST_{Fondo}} = 310 \frac{kN}{m^2}$$

4.2 Presiones en la chapa de costado

- **Presión externa inducida por aguas tranquilas**

Estas presiones se calculan según indica el reglamento en la PT B, Ch 5, Sec 5:

Table 1 : Still water pressure

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

Siendo el punto del costado con más cargas la altura máxima del doble fondo:

$$P_s = 1.025 \times 9.81 \times (12,3 - 2,5) = 98.5 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión externa inducida por olas**

Estas presiones se calculan según indica el reglamento en la PT B, Ch 5, Sec 5:

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

Location	Wave pressure p_w , in kN/m ²	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \varphi_1 \varphi_2 L$	0,0
Note 1: $h = C_{r1} h_1$ C_{r1} : Combination factor, to be taken equal to: <ul style="list-style-type: none"> • $C_{r1} = 1,0$ for load case "a" • $C_{r1} = 0,5$ for load case "b". 		

$$P_{Wside} = 1.025 \times 9.81 \times 6.7 \times e^{\left(-2\pi \times \frac{(12,3-2,5)}{251,2}\right)} = 52,72 \frac{kN}{m^2}$$

• **Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas**

1.1.1 Still water pressure

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m², from the following formulae:

$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m², less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

ρ_L : Density, in t/m³, of the liquid carried

ρ_B : Density, in t/m³, of the dry bulk cargo carried; in certain cases, such as spoils, the water held by capillarity is to be taken into account

z_{TOP} : Z co-ordinate, in m, of the highest point of the tank in the z direction

z_L : Z co-ordinate, in m, of the highest point of the liquid:

$$z_L = z_{TOP} + 0,5 (z_{AP} - z_{TOP})$$

z_{AP} : Z co-ordinate, in m, of the top of air pipe, to be taken not less than z_{TOP}

p_{PV} : Design vapour pressure, in bar:

Where a pressure relief valve is fitted, p_{PV} is to be taken equal to:

- 1,1 times the safety valve setting pressure in general
- 1,0 times the safety valve setting pressure in case of liquefied gas cargo tank or liquefied gas fuel tank.

$$z_L = 30 + 0.5(31 - 30) = 30,5 \text{ m}$$

Se escoge la mayor presión de las que se definen a continuación:

- $P_{s1} = 1.025 \times 9.81 \times (30,55 - 2,5) = 281,5 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 1.025 \times 9.81 \times (30 - 2,5) + 100 \times 1.1 = 386,5 \frac{kN}{m^2}$
- Además, el valor escogido no debe ser menor que:
- $P_{s3} = 1.025 \times 9.81 \times \left(\frac{0.8 \times 42}{420}\right) = 0.89 \frac{kN}{m^2}$

Por tanto, la presión interna inducida por tanques en aguas tranquilas resulta:

$$P_s = 386,5 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducida en tanques por fuerzas inerciales**

Según se indica en el reglamento BV Pt B, Ch 5, Sec 6, para la condición de carga "a" no es preciso tener en cuenta las presiones inerciales.

- **Presión interna inducidas en tanques por test**

The greater of the following:

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$$

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$$

$$p_{ST} = 10 (z_{BD} - z)$$

Siendo,

- $Z_{TOP} = 30 \text{ m}$
- $Z_{BD} = 23,5 \text{ m}$
- $D_{AP} = 1 \text{ m}$

Resultando,

$$P_{ST1} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 285 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 299 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 210 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, escogiendo el mayor valor de los calculados:

$$P_{ST_{COSTADO}} = 299 \frac{kN}{m^2}$$

4.3 Presiones en la chapa del doble fondo

- **Presión externa inducida por aguas tranquilas**

No existe presión inducida por aguas tranquilas en el doble fondo.

$$P_s = 0 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión externa inducida por olas**

En este caso, también se deduce que la chapa del doble fondo no está sometida a esta carga:

$$P_{Wside} = 0 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas**

Esta chapa está cargada por esfuerzos generados por los tanques de lastre y tanques de carga. El cálculo se desarrolla en la normativa (Pt B, Ch 5, Sec 6):

1.1.1 Still water pressure

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m², from the following formulae:

$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m², less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

Estas ecuaciones han de usarse para el caso de la presión ejercida por los tanques del doble fondo y la ejercida por los tanques de carga.

Para el caso de los tanques de carga:

$$Z_L = 23.5 + 0.5(30 - 23.5) = 26.75 \text{ m}$$

Se escoge la mayor presión de las que se definen a continuación:

- $P_{s1} = 0.46 \times 9.81 \times (26.75 - 2.5) = 109,4 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 0.46 \times 9.81 \times (23.5 - 2.5) + 100 \times 0.7 = 164,8 \frac{kN}{m^2}$
- Además, el valor escogido no debe ser menor que:
- $P_{s3} = 0.46 \times 9.81 \times \left(\frac{0.8 \times 42}{420} \right) = 0.4 \frac{kN}{m^2}$

Para el caso de los tanques de lastre:

$$Z_L = 2,5 + 0.5(30 - 2,5) = 16,75 \text{ m}$$

- $P_{s1} = 1.025 \times 9.81 \times (16,75 - 2,5) = 143,3 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 1.025 \times 9.81 \times (2,5 - 2,5) + 100 \times 1.1 = 110 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s3} = 1.025 \times 9.81 \times \left(\frac{0.8 \times 42}{420 - 4} \right) = 0.9 \frac{kN}{m^2}$

Por tanto, eligiendo la más desfavorable de las calculadas anteriormente, la presión interna inducida por tanques en aguas tranquilas resulta:

$$P_s = 164.8 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducidas en tanques por test**

The greater of the following:

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$$

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$$

$$p_{ST} = 10 (z_{BD} - z)$$

En el caso de tanques de carga:

Siendo,

- $Z_{TOP} = 30 \text{ m}$
- $Z_{BD} = 23,5 \text{ m}$
- $D_{AP} = 1 \text{ m}$

Resultando,

$$P_{ST} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 285 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST2} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 299 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 260 \frac{kN}{m^2}$$

En el caso de los tanques de lastre.

Siendo,

- $Z_{TOP} = 2,5 \text{ m}$
- $Z_{BD} = 23,5 \text{ m}$
- $D_{AP} = 28,5 \text{ m}$

Resultando,

$$P_{ST1} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 280 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST2} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 24 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 0 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, escogiendo el mayor valor de los calculados:

$$P_{STDF} = 280 \frac{kN}{m^2}$$

4.4 Presiones en la chapa de pantoque

- Presión externa inducida por aguas tranquilas

Seguendo en el reglamento Pt B, Ch 5, Sec 5:

Table 1 : Still water pressure

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

$$P_s = 1.025 \times 9.81 \times 12,3 = 123,7 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión externa inducida por olas**

Se calculan según indica el reglamento en la PT B, Ch 5, Sec 5:

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

Location	Wave pressure p_{wv} , in kN/m^2	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1 - z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \phi_1 \phi_2 L$	0,0
Note 1: $h = C_{r1} h_1$ C_{r1} : Combination factor, to be taken equal to: <ul style="list-style-type: none"> • $C_{r1} = 1,0$ for load case "a" • $C_{r1} = 0,5$ for load case "b". 		

$$P_{Wside} = 1.025 \times 9.81 \times 6.7 \times e^{\left(-2\pi \times \frac{12,3}{251,2}\right)} = 49.5 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas**

Los tanques de lastre son los que cargan la chapa de pantoque, siguiendo el cálculo del reglamento (Pt B, Ch 5, Sec 6):

1.1.1 Still water pressure

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m^2 , from the following formulae:

$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m^2 , less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

$$Z_L = 2,5 + 0.5(30 - 2,5) = 16,75 \text{ m}$$

Se escoge la mayor presión de las que se definen a continuación:

- $P_{s1} = 1.025 \times 9.81 \times 16,75 = 168.9 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 1.025 \times 9.81 \times 12,3 + 100 \times 1.1 = 233,7 \frac{kN}{m^2}$
- Además, el valor escogido no debe ser menor que:
- $P_{s3} = 1.025 \times 9.81 \times \left(\frac{0,8 \times 45}{420 - 45} \right) = 0.96 \frac{kN}{m^2}$

Por tanto, escogiendo la presión mayor:

$$P_s = 233,7 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducidas en tanques por test**

The greater of the following:

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$$

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$$

$$p_{ST} = 10 (z_{BD} - z)$$

Siendo,

- $Z_{TOP} = 2,5 \text{ m}$
- $Z_{BD} = 23,5 \text{ m}$
- $D_{AP} = 28,5 \text{ m}$

Resultando,

$$P_{ST1} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 310 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST2} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 49 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 210 \frac{kN}{m^2}$$

4.5 Presiones en la chapa de la cubierta principal

Para el cálculo de esta presión se recurre de nuevo al reglamento (Pt B, Ch 5, Sec 5):

3.2 Sea pressures on exposed decks

3.2.1 Still water pressure

The still water pressure on exposed decks is to be taken equal to $10 \cdot \phi_1 \cdot \phi_2$, where ϕ_1 is defined in Tab 2 and ϕ_2 in Tab 3.

En primer lugar, se define el coeficiente de presión en cubiertas expuestas 1 mediante la tabla que se muestra a continuación:

Exposed deck location	ϕ_1
Freeboard deck and below	1,00
Top of lowest tier	0,75
Top of second tier	0,56
Top of third tier	0,42
Top of fourth tier	0,32
Top of fifth tier	0,25
Top of sixth tier	0,20
Top of seventh tier	0,15
Top of eighth tier and above	0,10

En segundo lugar, se define el coeficiente de presión en cubiertas expuestas 2:

- ϕ_2 : Coefficient taken equal to:
- $\phi_2 = 1$ if $L \geq 120 \text{ m}$
 - $\phi_2 = L/120$ if $L < 120 \text{ m}$

Por tanto, en el caso proyectado:

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 1$$

Resultando la presión del agua sobre la cubierta principal:

$$P_S \geq 10 \times 1 \times 1 = 10 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducida en tanques por aguas tranquilas**

Los tanques de lastre son los que cargan la chapa de cubierta principal, siguiendo el cálculo del reglamento (Pt B, Ch 5, Sec 6):

1.1.1 Still water pressure

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m^2 , from the following formulae:

$$p_s = \rho_L g (z_L - z)$$

$$p_s = \rho_L g (z_{TOP} - z) + 100 p_{PV}$$

In no case is it to be taken, in kN/m^2 , less than:

$$p_s = \rho_L g \left(\frac{0,8L_1}{420 - L_1} \right)$$

$$Z_L = 30 + 0.5(30 - 30) = 30m$$

Se escoge la mayor presión de las que se definen a continuación:

- $P_{s1} = 0.46 \times 9.81 \times (30 - 30) = 0 \frac{kN}{m^2}$
- $P_{s2} = 0.46 \times 9.81 \times 0 + 100 \times 0.7 = 70 \frac{kN}{m^2}$
- Además, el valor escogido no debe ser menor que:
- $P_{s3} = 0.46 \times 9.81 \times \left(\frac{0.8 \times 42}{420 - 42} \right) = 0.4 \frac{kN}{m^2}$

Por tanto, escogiendo la presión mayor:

$$P_s = 70 \frac{kN}{m^2}$$

- **Presión interna inducidas en tanques por test**

The greater of the following:

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$$

$$p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 2,4]$$

$$p_{ST} = 10 (z_{BD} - z)$$

Siendo,

- $Z_{TOP} = 30 m$
- $Z_{BD} = 21.3 m$
- $D_{AP} = 1m$

Resultando,

$$P_{ST1} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + D_{AP}) = 10 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST2} = 10 \times ((Z_{TOP} - z) + 2.4) = 24 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{ST3} = 10 \times (Z_{BD} - z) = 0 \frac{kN}{m^2}$$

5 ESCANTILLONADO

En el proceso de escantillonado se define el espesor de los elementos que constituyen la estructura del buque, los cuales influyen en la resistencia de ésta.

Los espesores mínimos requeridos de dichos elementos se encuentran en el reglamento (Pt B, Ch 7, Sec 1):

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

El proceso a seguir para dimensionar cada chapa es el que se muestra a continuación, este desarrollo se llevará a cabo para cada caso:

Para los casos en los que el elemento que se calcule contribuya a la resistencia longitudinal, el valor mínimo que tomará el espesor de la chapa será el mayor entre el

resultado de la expresión de la tabla anterior y el valor que se define con la siguiente ecuación:

3.3.1 General

The net thickness of laterally loaded plate panels subjected to in-plane normal stress acting on the shorter sides is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

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

where:

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

Se definen a continuación los parámetros que influyen en las expresiones de $\lambda(L)$:

- P_s y P_w son las presiones por olas y por aguas tranquilas, calculadas en el apartado 4 para cada caso.
- γ es el factor de seguridad. Se define en el reglamento (Pt B, Ch 7, Sec 1) en la tabla que se muestra:

Table 1 : Plating - Partial safety factors

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Strength check of plating subjected to lateral pressure				Buckling check
		General	Sloshing pressure	Flooding pressure (1)	Testing check	
		see [3.2], [3.3.1], [3.4.1], [3.5.1] and [4]		see [3.3.2], [3.4.2] and [3.5.2]	see [3.3.3], [3.4.3] [3.5.3]	
Still water hull girder loads	γ_{s1}	1,00	0	1,00	N.A.	1,00
Wave hull girder loads	γ_{w1}	1,15	0	1,15	N.A.	1,15
Still water pressure	γ_{s2}	1,00	1,00	1,00	1,00	N.A.
Wave pressure	γ_{w2}	1,20	1,05	1,20	N.A.	N.A.
Material	γ_m	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Resistance	γ_R	1,20	1,10	1,05 (2)	1,05	1,10

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

- $\sigma(x1)$ es la tensión en chapas que influyen en la resistencia longitudinal. Se define en el reglamento (Pt B, Ch 7, Sec 1):
- R_y es la resistencia del acero para barcos. 235 N/mm

Una vez definidos los parámetros de $\lambda(L)$, se definen los parámetros del cálculo del espesor:

- C_a : Relación de aspecto.

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

Siendo, "s" la separación entre refuerzos y "l" la separación entre varengas, valores definidos al principio del documento.

El valor de Ca no puede ser mayor de 1.

$$Ca = 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.84}{2.5}\right)^2} - 0.69 \times \left(\frac{0.84}{2.5}\right) = 1$$

- Cr: Coeficiente de curvatura

$$c_r = 1 - 0,5 s / r$$

to be taken not less than 0,5

r : Radius of curvature, in m

Se definirá un tercer espesor mínimo para cada elemento a partir de la presión en la condición de prueba, se sigue la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} P_T}{R_y}}$$

5.1 Escantillado de los elementos de fondo

A continuación, se muestra el cálculo del espesor mínimo del fondo, se utiliza la expresión indicada en la tabla al principio de este apartado.

Resultando, en la quilla:

$$t_{QUILLA1} = 3.8 + 0.040 \times L \times K^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s = 3.8 + 0.040 \times 251,2 \times 1 + 4.5 \times 0.81$$

$$t_{QUILL} = 17,5 \text{ mm}$$

En el fondo, teniendo en cuenta que es estructura longitudinal (definido en el apartado 1 de este documento):

$$t_{FONDO} = 1.9 + 0.032 \times L \times K^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s = 1.9 + 0.032 \times 251,2 \times 1 + 4.5 \times 0.81$$

$$t_{FONDO1} = 13,6 \text{ m}$$

Seguidamente, debido a que esta chapa contribuye a la resistencia longitudinal, utilizando la ecuación general se calcula de nuevo el espesor teniendo en cuenta las condiciones del caso de la chapa proyectada:

$$t = 14,9 C_a C_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} P_s + \gamma_{w2} P_w}{\lambda_1 R_y}}$$

- Según se indicaba anteriormente. $Ca = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en el caso del fondo se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $Cr = 1$
- y r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- y m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente

- P_s es la presión en el fondo del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del fondo. $P_s = 168.9 \frac{kN}{m^2}$

- P_w es la presión en el fondo del buque por olas. $P_w = 91,8 \frac{kN}{m^2}$

- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$

- λL se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{X1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0,5 \times D}\right)\right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0,5 \times 30}\right)\right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda L = \sqrt{1 - 0,95 \times \left(1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2} - 0,225 \times 1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right) = 0,8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado del fondo:

$$t_{FONDO2} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,2 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 168,9 + 1,2 \times 91,89}{0,8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{FOND} = 16,2 \text{ mm}$$

Por último, se calcula un espesor mínimo en chapa en las condiciones de prueba, se aplica la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1,05$
- $\gamma_M = 1,02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{FOND} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,05 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 310}{235}\right)} = 14,3 \text{ mm}$$

De los dos espesores calculados por ambos métodos, se escoge el mayor resultado obtenido, que es el que se muestra a continuación:

$$t_{FONDO} = 16,2 \text{ mm}$$

$$t_{QUILLA} = 17,5 \text{ mm}$$

A estos valores se les debe aplicar el margen de corrosión por contacto con el agua de mar y por los tanques de lastre, resultando para cada caso 1,5 mm de margen:

$$t_{QUILLA} = 17,5 + 1.5 = 19 \text{ mm}$$

$$t_{FONDO} = 16,2 + 1.5 = 17,7 \cong 18 \text{ mm}$$

4.3 Escantillonado de los elementos de doble fondo

En primer lugar, será calculado el espesor mínimo de la chapa indicado en la primera tabla proporcionada en este apartado del documento.

De esta forma y debido a que en la cuaderna maestra no se localiza la cámara de máquinas, esta será la ecuación a seguir:

$$t_{DF1} = 1.9 + 0.032 \times L \times K^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s = 1.9 + 0.032 \times 251,2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.81$$

$$t_{DF1} = 13.6 \text{ mm}$$

Este elemento también contribuye a la resistencia longitudinal del buque proyectado, por lo tanto, se desarrollará también el siguiente calculo para después elegir el mayor espesor entre los dos calculados.

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

- Según se indicaba anteriormente. $c_a = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $c_r = 1$
- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente
- P_s es la presión en el doble fondo del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble fondo. $P_s = 164.8 \frac{kN}{m^2}$
- P_w es la presión en el doble fondo del buque por olas. $P_w = 0 \frac{kN}{m^2}$
- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0.5 \times D} \right) \right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0.5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0.5 \times 31.5} \right) \right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda L = \sqrt{1 - 0.95 \times \left(1.02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2} - 0.225 \times 1.02 \times \left(\frac{100}{235}\right) = 0.8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado del doble fondo:

$$t_{DF2} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 164.8 + 1.2 \times 0}{0.8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{DF2} = 12.44 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14.9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{DF3} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.05 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 280}{235}\right)} = 13.63 \text{ mm}$$

Al mayor valor de espesor del doble fondo se le ha de aplicar el margen de corrosión por estar en contacto con los tanques de carga de LNG y los tanques de lastre. El margen que aplicar es 1mm, resultando:

$$t_{DF} = 13.6 + 1 = 14.6 \cong 15 \text{ mm}$$

5.4 Escantillonado de los elementos de Cubierta

Utilizando de nuevo la primera tabla proporcionada en este apartado del documento, se calcula el espesor mínimo de la chapa de la cubierta principal:

$$t_{CP1} = 2.1 + 2.2 \times K^{\frac{1}{2}} + s = 2.1 + 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.81$$

$$t_{CP1} = 3.74 \text{ mm}$$

Esta chapa también contribuye en la resistencia longitudinal de la estructura, por tanto, el cálculo siguiente también deberá ser desarrollado.

$$t = 14.9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{\lambda_1 R_y}}$$

- Según se indicaba anteriormente. $c_a = 1$

- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $c_r = 1$

- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2

- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente

- P_s es la presión en la cubierta principal del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del fondo. $P_s = 10 \frac{kN}{m^2}$

- P_w es la presión en la cubierta del buque por olas. $P_w = 0 \frac{kN}{m^2}$

- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$

- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0,5 \times D}\right)\right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0,5 \times 31,5}\right)\right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \times \left(1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2} - 0,225 \times 1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right) = 0,8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado de cubierta:

$$t_{CP2} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,2 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 10 + 1,2 \times 0}{0,8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{CP} = 3,06 \text{ mm}$$

Se escoge el mayor espesor para la cubierta principal de los dos que se han calculado con anterioridad, resultando:

$$t_{CP} = 3,74 \text{ mm}$$

El margen aplicable es por contacto con el aire, por tanto, se añade 0.5 mm:

$$t_{CP} = 3,74 + 0,5 = 4,24 \cong 5 \text{ mm}$$

5.5 Escantillonado de los elementos de Costado

5.5.1 Bajo la cubierta del francobordo

En primer lugar, se calcula el espesor mínimo para este caso:

$$t_{1,1} = 2,1 + 0,031 \times L \times K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \times s = 2,1 + 0,031 \times 251,2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \times 0,81$$

$$t_{1,1} = 13,53 \text{ mm}$$

Debido a que este elemento contribuye a la resistencia longitudinal de la estructura, seguidamente habrá que realizar un segundo cálculo:

$$t_{1.2} = 17.2 \times Ca \times Cr \times s \times \sqrt{y_R \times y_M \times \left(\frac{y_{S2} \times Ps + y_{W2} \times Pw}{\lambda L \times Ry} \right)}$$

- Según se indicaba anteriormente. $Ca = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en el caso del costado se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $Cr = 1$
- yf observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- ym toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente
- Ps es la presión en el costado del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del costado. $Ps = 306.5 \frac{kN}{m^2}$
- Pw es la presión en el costado del buque por olas. $Pw = 52,7 \frac{kN}{m^2}$
- Ry es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $Ry = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λL se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0.5 \times D} \right) \right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0.5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0.5 \times 31.5} \right) \right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- ym indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda L = \sqrt{1 - 0.95 \times \left(1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right) \right)^2} - 0.225 \times 1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right) = 0.8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado del costado bajo la altura del francobordo:

$$t_{1.2} = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 306,5 + 1.2 \times 52,7}{0.8084 \times 235} \right)}$$

$$t_{1.2} = 21,5 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{1.3} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.05 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 280}{235}\right)} = 13,63 \text{ mm}$$

Se aplica al mayor espesor de los anteriores calculados un margen de corrosión a causa del contacto con el agua de mar y los tanques de lastre. Se incrementa 1.5 mm:

$$t_1 = 21,5 + 1.5 = 23 \text{ mm}$$

5.5.2 Encima de la cubierta de francobordo

Primero se calcula el espesor mínimo:

$$t_{2.1} = 2.1 + 0.013 \times L \times K^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s = 2.1 + 0.013 \times 251,2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.81$$

$$t_{2.1} = 10,5 \text{ mm}$$

De igual forma que en el caso anterior, también habrá que estudiar la chapa del costado desde el punto de vista estructural.

$$t_{2.2} = 17.2 \times C_a \times C_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_M \times \left(\frac{\gamma_{S2} \times P_s + \gamma_{W2} \times P_w}{\lambda L \times R_y}\right)}$$

- Según se indicaba anteriormente. $C_a = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en el caso del costado se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $C_r = 1$
- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente
- P_s es la presión en el costado del buque inducida por aguas tranquilas. Como es razonable, por encima de la cubierta de francobordo, $P_s = 0 \frac{kN}{m^2}$
- P_w es la presión en el costado del buque por olas. $P_w = 52.7 \frac{kN}{m^2}$
- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λL se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{X1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0.5 \times D} \right) \right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0.5D$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0.5 \times 31.5} \right) \right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda L = \sqrt{1 - 0.95 \times \left(1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right) \right)^2 - 0.225 \times 1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right)} = 0.8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado del costado por encima de la cubierta de francobordo:

$$t_{2,2} = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1.2 \times 52.7}{0.8084 \times 235} \right)}$$

$$t_{2,2} = 8,9 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{2,3} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.05 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 280}{235} \right)} = 13,63 \text{ mm}$$

Se aplica al mayor espesor de los anteriores calculados un margen de corrosión a causa del contacto con los tanques de lastre. Se incrementa 0.5 mm:

$$t_2 = 13,63 + 0.5 = 14.13 \cong 15 \text{ mm}$$

5.6 Escantillonado de chapa pantoque

Siguiendo el reglamento indicado en la RPA, el espesor mínimo requerido se define de la siguiente forma:

2.3 Bilge plating

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

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

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

- $t = 0,7 [\gamma_R \gamma_M (\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W) S_b]^{0,4} R^{0,6} k^{1,2}$

where:

R : Bilge radius, in m

S_b : Spacing of floors or transverse bilge brackets, in m

P_s : Still water sea pressure, defined in Ch 5, Sec 5, [1]

P_w : Wave pressure, defined in Ch 5, Sec 5, [2] for each load case "a", "b", "c" and "d"

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

2.3.3 The net thickness bilge plating is to be not less than the actual thicknesses of the adjacent bottom or side plating, whichever is the greater.

$$t_{PANTOQUE} = 0.7 \times (\gamma_R \times \gamma_M \times (\gamma_{S2} \times P_S + \gamma_{W2} \times P_W) \times S_B)^{0,4} \times R^{0,6} \times k^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{PANTOQUE} = 0.7 \times (1.2 \times 1.02 \times (1 \times 233,7 + 1.2 \times 49.89) \times 2.5)^{0,4} \times 1.5^{0,6} \times 1^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{PANTOQUE} = 13,5 \text{ mm}$$

El estudio de la chapa también se hace desde el punto de vista de su contribución a la resistencia de la estructura, por tanto:

$$t_{PANTOQUE2} = 14.9 \times Ca \times Cr \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_M \times \left(\frac{\gamma_{S2} \times P_S + \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda L \times R_y} \right)}$$

- Según se indicaba anteriormente. $Ca = 1$

- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en el caso del pantoque:

$$Cr = 1 - 0.5 \times \left(\frac{0.84}{1.5} \right) = 0.72$$

- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2

- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente

- P_s es la presión en el pantoque del buque inducida por aguas tranquilas. $P_s = 233,7 \frac{kN}{m^2}$

- P_w es la presión en el pantoque del buque por olas. $P_w = 49.89 \frac{kN}{m^2}$

- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$

- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0,5 \times D}\right)\right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0,5 \times 31,5}\right)\right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \times \left(1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2 - 0,225 \times 1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right)} = 0,8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado del costado por encima de la cubierta de francobordo:

$$t_{PANTOQUE2} = 14,9 \times 1 \times 0,72 \times 0,81 \times \sqrt{1,2 \times 1,02 \times \left(\frac{233,7 + 1,2 \times 49,89}{0,8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{PANTOQUE2} = 6,4 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1,05$
- $\gamma_M = 1,02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{PANTOQUE3} = 14,9 \times 1 \times 0,72 \times 0,81 \times \sqrt{1,05 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 310}{235}\right)} = 10,3 \text{ mm}$$

Se aplica al mayor espesor de los anteriores calculados un margen de corrosión a causa del contacto con los tanques de lastre. Se incrementa 0.5 mm:

$$t_2 = 13,5 + 0.5 = 14 \text{ mm}$$

6 REFUERZOS PRIMARIOS

En el desarrollo del dimensionamiento de los refuerzos primarios de la estructura se utiliza el reglamento Bureau Veritas (Pt B, Ch 8, Sec 3). Se calcula:

- Varengas
- Bulárcamas
- Vagras
- Baos

Para ello se realizará un proceso semejante al del anterior apartado, en primer lugar, se calcula un primer espesor mínimo utilizando la siguiente expresión para refuerzos primarios que se indica en la normativa:

2.1 Minimum thicknesses

2.1.1 General

The net thickness of plating which forms the webs of primary supporting members is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formulae:

$$t_{\text{MIN}} = 3,7 + 0,015 L k^{1/2} \quad \text{for } L < 120 \text{ m}$$

$$t_{\text{MIN}} = 3,7 + 1,8 k^{1/2} \quad \text{for } L \geq 120 \text{ m}$$

En segundo lugar, se calcula el espesor del refuerzo como una chapa ya que estos elementos contribuyen a la resistencia longitudinal del buque proyectado, para ello se utiliza la expresión ya utilizada en apartados anteriores:

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

6.1 Espesor varengas

Cálculo del espesor de las varengas utilizando la primera expresión indicada al inicio del apartado:

$$t_{\text{VARENGA1}} = 3.7 + 1.8 \times K^{\frac{1}{2}} = 3.7 + 1.8 \times 1^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\text{VARENGA}} = 5.5 \text{ mm}$$

Entendiendo la varenga como una chapa:

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

- Según se indicaba anteriormente. $C_a = 1$
- Siendo “r” el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $C_r = 1$
- y r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente
- P_s es la presión inducida por aguas tranquilas. Se considerará. $P_s = 168.9 \frac{kN}{m^2}$

- P_w es la presión por olas. $P_w = 91,8 \frac{kN}{m^2}$
- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{X1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0,5 \times D}\right)\right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0,5 \times 31,5}\right)\right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \times \left(1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2} - 0,225 \times 1,02 \times \left(\frac{100}{235}\right) = 0,8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado de varenga:

$$t_{VARENGA2} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,2 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 168,9 + 1,2 \times 91,89}{0,8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{VARENGA2} = 16,2 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1,05$
- $\gamma_M = 1,02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{VARENGA3} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,05 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 310}{235}\right)} = 14,34 \text{ mm}$$

Se escoge el mayor espesor para la varenga de los tres que se han calculado con anterioridad. A este valor se le añade el margen de corrosión por estar en contacto con los tanques de lastre:

$$t_{VARENGA} = 16,2 + 1 = 17,2 \cong 17 \text{ mm}$$

6.2 Espesor vagras

En primer lugar, utilizando la primera expresión indicada al inicio del apartado se define el espesor mínimo que deben cumplir las vagras de todas las zonas.

$$t_{VAGRA1} = 3.7 + 1.8 \times K^{\frac{1}{2}} = 3.7 + 1.8 \times 1^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{VAGRA1} = 5.5 \text{ mm}$$

Entendiendo la vagra como una chapa, y en este caso diferenciando las distintas zonas:

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

- Según se indicaba anteriormente. $C_a = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $C_r = 1$
- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente.
- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \left(\gamma_m \frac{\tau_1}{R_y} \right)^2 - 0,95 \left(\gamma_m \frac{\sigma_{X1}}{R_y} \right)^2} - 0,225 \gamma_m \frac{\sigma_{X1}}{R_y}$$

- σ_{X1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0,5 \times D} \right) \right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0,5 \times 31,5} \right) \right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \times \left(1,02 \times \left(\frac{100}{235} \right) \right)^2} - 0,225 \times 1,02 \times \left(\frac{100}{235} \right) = 0,8084$$

- P_S es la presión en el doble fondo del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble fondo. $P_S = 168,9 \frac{kN}{m^2}$

- P_W es la presión en el fondo del buque por olas. $P_W = 91,9 \frac{kN}{m^2}$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado de la vagra del doble fondo:

$$t_{VAGRA2} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 168.9 + 1.2 \times 91.9}{0.8084 \times 235} \right)}$$

$$t_{VAGRA2(DF)} = 16,3 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{VAGRA} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.05 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 310}{235} \right)} = 14.3 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor de la vagra del doble fondo resulta:

$$t_{VAGRA(DF)} = 17 \text{ mm}$$

6.3 Espesor bulárcama

En primer lugar, utilizando la primera expresión indicada al inicio del apartado se define el espesor mínimo que deben cumplir las bulárcamas.

$$t_{BULÁRCAMA} = 3.7 + 1.8 \times K^{\frac{1}{2}} = 3.7 + 1.8 \times 1^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{BULÁRCAMA1} = 5.5 \text{ mm}$$

En segundo lugar, entendiéndolo la bulárcama como una chapa:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{\lambda_L R_y}}$$

- Según se indicaba anteriormente. $C_a = 1$
- Siendo “r” el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $C_r = 1$
- P_S es la presión en el costado del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa de costado. $P_S = 306.5 \frac{kN}{m^2}$
- P_W es la presión en el costado del buque por olas. $P_W = 52.7 \frac{kN}{m^2}$

- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2

- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente.

- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$

- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0.5 \times D}\right)\right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0.5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0.5 \times 31.5}\right)\right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \times \left(1.02 \times \left(\frac{100}{235}\right)\right)^2} - 0.225 \times 1.02 \times \left(\frac{100}{235}\right) = 0.8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado de bulárcama:

$$t_{BULÁRCAMA2} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 306.6 + 1.2 \times 52.7}{0.8084 \times 235}\right)}$$

$$t_{BULÁRCAMA2} = 18,6 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9c_a c_r s \sqrt{\gamma_R \gamma_m \frac{\gamma_{s2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{BULARCAMA} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.05 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 299}{235}\right)} = 14 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor de bulárcama resulta:

$$t_{BULÁRCAMA} = 18,6 + 1 = 19,6 \cong 20 \text{ mm}$$

6.4 Espesor baos

En primer lugar, utilizando la primera expresión indicada al inicio del apartado se define el espesor mínimo que deben cumplir los baos.

$$t_{BAO1} = 3.7 + 1.8 \times K^{\frac{1}{2}} = 3.7 + 1.8 \times 1^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{BAO1} = 5.5 \text{ mm}$$

En segundo lugar, entendiendo el bao como una chapa:

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

- Según se indicaba anteriormente. $C_a = 1$
- Siendo "r" el radio de curvatura de la placa, que en este caso se considera infinito, siguiendo la ecuación señalada en el apartado anterior. $C_r = 1$
- P_S es la presión en el costado del buque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa de costado. $P_S = 306.5 \frac{kN}{m^2}$
- P_W es la presión en el costado del buque por olas. $P_W = 52.7 \frac{kN}{m^2}$
- γ_r observando la tabla que se proporcionó al principio del documento, toma el valor de 1.2
- γ_m toma el valor de 1.02, siguiendo la tabla nombrada anteriormente.
- R_y es la resistencia del material definido al comienzo del documento. $R_y = 235 \frac{N}{mm^2}$
- λ_L se calcula a partir de la siguiente ecuación:

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

- σ_{X1} es la tensión normal primaria del buque viga. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{K} \times \left(1 - \left(\frac{Z}{0.5 \times D} \right) \right) \text{ siendo } 0 \leq Z \leq 0.5D$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{1} \times \left(1 - \left(\frac{0}{0.5 \times 31.5} \right) \right) = 100 \frac{N}{mm^2}$$

- γ_m indicado en la tabla anterior, toma el valor de 1.02

Resultando:

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0.95 \times \left(1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right) \right)^2} - 0.225 \times 1.02 \times \left(\frac{100}{235} \right) = 0.8084$$

Finalmente, el resultado del segundo espesor mínimo calculado de bulárcama:

$$t_{BAO2} = 14.9 \times 1 \times 1 \times 0.81 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \left(\frac{1 \times 306,5 + 1.2 \times 52.7}{0.8084 \times 235} \right)}$$

$$t_{BAO2} = 18,6 \text{ mm}$$

Por último, se calcula el espesor para la condición de prueba siguiendo la siguiente ecuación:

3.3.3 Testing conditions

The plating of compartments or structures as defined in Ch 5, Sec 6, Tab 13 is to be checked in testing conditions. To this end, its net thickness is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 14,9 C_a C_r S \sqrt{\gamma_R \gamma_M \frac{\gamma_{S2} P_T}{R_y}}$$

Siendo para la condición considerada:

- $\gamma_R = 1.05$
- $\gamma_M = 1.02$
- $\gamma_{S2} = 1$

$$t_{BULARCAMA} = 14,9 \times 1 \times 1 \times 0,81 \times \sqrt{1,05 \times 1,02 \times \left(\frac{1 \times 280}{235}\right)} = 14,13 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor del bao resulta:

$$t_{BAO} = 18,6 + 1 = 19,6 \cong 20 \text{ mm}$$

7 REFUERZOS SECUNDARIOS

En primer lugar, se calcula el espesor mínimo necesario, para ellos se utiliza el reglamento (Pt B, Ch 7, Sec 2), que indica:

2.2 Minimum net thicknesses

2.2.1 The net thickness of the web of ordinary stiffeners is to be not less than the lesser of:

- the value obtained, in mm, from the following formulae:

$$t_{\text{MIN}} = 0,8 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s \quad \text{for } L < 120 \text{ m}$$

$$t_{\text{MIN}} = 1,6 + 2,2 k^{1/2} + s \quad \text{for } L \geq 120 \text{ m}$$

- the net as built thickness of the attached plating.

Después, se escoge el menor espesor entre el anterior calculado y el de la chapa asociada calculada en apartados anterior.

Por último, se calculará el módulo y área seccional (BV, Pt B, Ch 7, Sec 2)

3.7.3 Single span longitudinal and transverse ordinary stiffeners subjected to lateral pressure

The net section modulus w , in cm^3 , and the net shear sectional area A_{sh} , in cm^2 , of longitudinal or transverse ordinary stiffeners subjected to lateral pressure are to be not less than the values obtained from the following formulae:

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

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

where:

β_b, β_s : Coefficients defined in [3.4.2].

Table 5 : Coefficients β_b and β_s

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

7.1 Refuerzos del fondo

Primero, se define el espesor mínimo requerido:

$$t_{\text{RefuerzoF}} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{\text{RefuerzoFondo1}} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.81$$

$$t_{\text{RefuerzoFondo}} = 4.33 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{\text{Alma}} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional:

$$A_{sh} = 10 \times 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 168.9 + 1.2 \times 91.89}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5$$

$$= 20,96 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 168.9 + 1.2 \times 91.89}{8 \times (235 - 1.02 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5^2 \times 10^3$$

$$= 1176,15 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
1210	69.6	370 x 13

7.2 Refuerzos de costados

Espesor mínimo requerido:

$$t_{\text{RefuerzoCost}} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{\text{RefuerzoCostado1}} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.81$$

$$t_{\text{RefuerzoCosta}} = 4.3 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{\text{Alma}} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional:

$$A_{sh} = 10 \times 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 306.5 + 1.2 \times 52.7}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5$$

$$= 27,7 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{306,5 + 1.2 \times 52,7}{8 \times (235 - 1.02 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5^2 \times 10^3$$

$$= 1557,7 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
1580	81.4	400 x 16

7.3 Refuerzos de doble fondo

Espesor mínimo requerido:

$$t_{RefuerzoDF} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{RefuerzoDF1} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.81$$

$$t_{RefuerzoDF} = 4.3 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{Alma} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional:

$$A_{sh} = 10 \times 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 164,82 + 1.2 \times 0}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0,81}{2 \times 2,5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5 = 12.4 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{164.82}{8 \times (235 - 1.02 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5^2 \times 10^3$$

$$= 694,3 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
701	49,7	300 x 12

7.4 Refuerzos del pantoque

Espesor mínimo requerido:

$$t_{RefuerzoPantoque1} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{RefuerzoPantoqu} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.84$$

$$t_{RefuerzoPantoqu} = 4.36 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{Alma} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional:

$$A_{sh} = 10 \times 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 233,7 + 1.2 \times 49.9}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.84}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.84 \times 2.5 = 22,7 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{233,7 + 1.2 \times 49.9}{8 \times (235 - 1.02 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.84}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.84 \times 2.5^2 \times 10^3$$

$$= 1832,6 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
1935	94,1	430 x 15

7.5 Refuerzos cubierta principal

Espesor mínimo requerido:

$$t_{RefuerzoCP1} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{RefuerzoCP1} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.81$$

$$t_{RefuerzoCP} = 4.3 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{Alma} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional:

$$A_{sh} = 10 \times 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 10 + 1.2 \times 0}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5 = 0.75 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.02 \times 1.02 \times 1 \times \frac{10 + 1.2 \times 0}{8 \times (235 - 1.02 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.81}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.81 \times 2.5^2 \times 10^3$$
$$= 42,2 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
45	9.74	100 x 8

8 REFUERZOS PRIMARIOS

El cálculo que se sigue se indica en el reglamento Bureau Veritas, Pt B, Ch 7, Sec 3 “Primary Supporting Members”.

3.7.2 Longitudinal and transverse primary supporting members

The net section modulus w , in cm^3 , and the net shear sectional area A_{sh} , in cm^2 , of longitudinal or transverse primary supporting members are to be not less than the values obtained from the following formulae:

$$w = \gamma_R \gamma_m \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{m(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_{X1})} S \ell^2 10^3$$

$$A_{sh} = 10 \gamma_R \gamma_m \beta_s \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{R_y} S \ell$$

where β_b and β_s are the coefficients defined in [3.5.2].

3.7.3 Vertical primary supporting members

The net section modulus w , in cm^3 , and the net shear sectional area A_{sh} , in cm^2 , of vertical primary supporting members are to be not less than the values obtained from the following formulae:

$$w = \gamma_R \gamma_m \lambda_b \beta_b \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{m(R_y - \gamma_R \gamma_m \sigma_A)} S \ell^2 10^3$$

$$A_{sh} = 10 \gamma_R \gamma_m \lambda_s \beta_s \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{R_y} S \ell$$

where:

β_b, β_s : Coefficients defined in [3.5.2]

λ_b, λ_s : Coefficients defined in [3.5.3]

σ_A : Defined in [3.5.3].

**Table 5 : Primary supporting members analysed through three dimensional or complete ship models
Resistance partial safety factor**

Type of three dimensional model (see Ch 7, App 1)	Resistance partial safety factor γ_R (see [4.4] and [5.3])		
	General	Flooding pressure	Testing check
Beam model	1,20	1,02	1,20
Coarse mesh finite element model	1,20	1,02	1,20
Standard mesh finite element model	1,05	1,02	1,05
Fine mesh finite element model	1,05	1,02	1,05

8.1 Refuerzos en vagras

Los refuerzos primarios utilizados en vagras serán verticales. A continuación, se indica el espesor mínimo del refuerzo:

Espesor mínimo requerido:

$$t_{\text{RefuerzoVagras1}} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{\text{RefuerzoVagr}} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.84$$

$$t_{\text{RefuerzoVagr}} = 4.36 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{\text{Alma}} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional utilizando las expresiones que se mostraron al inicio del apartado:

$$A_{sh} = 10 \times 1.05 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 168.9 + 1.1 \times 49.89}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.84}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.84 \times 2.5$$

$$= 17.8 \text{ cm}^2$$

$$w = 1.05 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 168.9 + 1.1 \times 49.89}{12 \times (235 - 1.05 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.84}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.84 \times 2.5^2 \times 10^3$$

$$= 655.7 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
671	46.7	300 x 11

8.2 Refuerzos palmejares de costado

Espesor mínimo requerido:

$$t_{\text{RefuerzoPalme}} = 1.6 \times 2.2 \times k^{\frac{1}{2}} + s$$

$$t_{\text{RefuerzoPalmejar1}} = 1.6 \times 2.2 \times 1^{\frac{1}{2}} + 0.65$$

$$t_{\text{RefuerzoPalmejar1}} = 2.28 \text{ mm}$$

Escogiendo el menor, resulta:

$$t_{\text{Alma}} = 3 \text{ mm}$$

A continuación, se calcula el módulo y el área seccional utilizando las expresiones que se mostraron al inicio del apartado:

$$A_{sh} = 10 \times 1.05 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 306.5 + 1.1 \times 52.7}{235} \times \left(1 - \left(\frac{0.65}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.65 \times 2.5$$

$$= 23.5 \text{ cm}^2$$

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

$$w = 1.05 \times 1.02 \times 1 \times \frac{1 \times 306.5 + 1.1 \times 52.7}{12 \times (235 - 1.05 \times 1.02 \times 100)} \times \left(1 - \left(\frac{0.65}{2 \times 2.5}\right)\right) \times 0.65 \times 2.5^2 \times 10^3$$
$$= 898,9 \text{ cm}^3$$

Se elige en reglamento un refuerzo tipo bulbo cuyas características cumplen con los mínimos establecidos:

W	Ash	Dimensiones
947	58,8	340 x 12

9 RESISTENCIA LONGITUDINAL

En el siguiente desarrollo se lleva a cabo la comprobación de que el módulo y área de la cuaderna maestra diseñada cumple con los mínimos que establece la sociedad de clasificación para la estructura del buque proyectado.

En el cálculo se tienen en cuenta los elementos que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque. Se calculará el momento de inercia respecto al eje neutro, por esta razón, primero se calcula la inercia propia de cada elemento, después con el teorema de Steiner se obtiene respecto a la línea base, y después, se utiliza de nuevo el teorema de Steiner para obtener el resultado buscado.

9.1 Cálculo de inercia y área de la cuaderna maestra

El cálculo se lleva a cabo para la cubierta y para el fondo. Se utilizará una hoja de excell que se muestran en las siguientes páginas.

En primer lugar, se definen desde la primera a la quinta columna del cálculo cada uno de los elementos estructurales de la cuaderna, para definirlos se mostrará sus dimensiones, área y centro de gravedad.

En segundo lugar, se definirán parámetros que se utilizarán en otros momentos del cálculo. En la quinta columna y sexta se muestran los siguientes valores que se utilizaran para el teorema de Steiner:

$$5^{\circ} \text{ Columna: } Area \times Y_G$$

$$6^{\circ} \text{ Columna: } Area \times Y_G^2$$

Por último, se calcula la inercia propia de cada elemento utilizando la siguiente ecuación:

$$I_o = \frac{1}{12} \times A \times H^2$$

A continuación, se observa la tabla explicada en este apartado.

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

ELEMENTO	Número elementos	Dimension	DIMENSIÓN	AREA	Yg	AREA x Yg	AREA x YG^2	H eq	lo	lo
		mm	mm	cm2	cm	cm3	cm4	m	cm2 x m2	cm4
Vagra DF	1	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	2	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	3	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	4	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	5	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	6	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	7	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	8	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	9	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	10	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	11	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	12	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	13	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	14	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
	15	2500	16	400	10	4000	40000	1	33,3333333	3333,33333
Vagra Costado	1	2000	16	320	43	13760	591680	4,3	493,066667	49306,6667
	2	2000	16	320	43	13760	591680	4,3	493,066667	49306,6667
	3	2000	16	320	124	39680	4920320	12,4	4100,26667	410026,667
	4	2000	16	320	124	39680	4920320	12,4	4100,26667	410026,667
	5	2000	16	320	213	68160	14518080	21,3	12098,4	1209840
	6	2000	16	320	213	68160	14518080	21,3	12098,4	1209840
Vagra Cubierta	1	2000	16	320	300	96000	28800000	30	24000	2400000
	2	2000	16	320	300	96000	28800000	30	24000	2400000
	3	2000	16	320	300	96000	28800000	30	24000	2400000
	4	2000	16	320	300	96000	28800000	30	24000	2400000
	5	2000	16	320	300	96000	28800000	30	24000	2400000
Ref Vagra DF	1	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	2	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	3	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	4	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	5	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	6	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	7	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	8	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	9	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	10	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	11	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	12	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	13	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	14	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	15	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	16	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	17	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	18	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	19	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	20	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	21	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	22	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	23	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	24	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	25	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	26	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	27	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	28	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
Ref Vagra costado	1	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625
	2	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	3	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	4	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	5	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	6	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	7	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	8	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	9	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	10	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	11	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	12	300*43	11	46,7	1,5	70,05	105,075	0,15	0,0875625	8,75625	
	Ref Vagra CP	1	300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267
		2	300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267
3		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
4		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
5		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
6		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
7		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
8		300*43	11	46,7	304	14196,8	4315827,2	30,4	3596,52267	359652,267	
Ref Fondo	1	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	2	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	3	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	4	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	5	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	6	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	7	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	8	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	9	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	10	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	
	11	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505	

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	12	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	13	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	14	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	15	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	16	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	17	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	18	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	19	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	20	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	21	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	22	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	23	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	24	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	25	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	26	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	27	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
	28	370*53,5	13	69,6	1,85	128,76	238,206	0,185	0,198505	19,8505
Ref pantoque	1	430*62,5	14	94,1	3	282,3	846,9	0,3	0,70575	70,575
	2	430*62,5	14	94,1	3	282,3	846,9	0,3	0,70575	70,575
	3	430*62,5	14	94,1	4,6	432,86	1991,156	0,46	1,65929667	165,929667
	4	430*62,5	14	94,1	4,6	432,86	1991,156	0,46	1,65929667	165,929667
	5	430*62,5	14	94,1	8,3	781,03	6482,549	0,83	5,40212417	540,212417
	6	430*62,5	14	94,1	8,3	781,03	6482,549	0,83	5,40212417	540,212417
	7	430*62,5	14	94,1	12,7	1195,07	15177,389	1,27	12,6478242	1264,78242
	8	430*62,5	14	94,1	12,7	1195,07	15177,389	1,27	12,6478242	1264,78242
	9	430*62,5	14	94,1	19,1	1797,31	34328,621	1,91	28,6071842	2860,71842
	10	430*62,5	14	94,1	19,1	1797,31	34328,621	1,91	28,6071842	2860,71842
	11	430*62,5	14	94,1	26,1	2456,01	64101,861	2,61	53,4182175	5341,82175
	12	430*62,5	14	94,1	26,1	2456,01	64101,861	2,61	53,4182175	5341,82175

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	13	430*62,5	14	94,1	33,1	3114,71	103096,901	3,31	85,9140842	8591,40842
	14	430*62,5	14	94,1	33,1	3114,71	103096,901	3,31	85,9140842	8591,40842
	15	430*62,5	14	94,1	23,8	2239,58	53302,004	2,38	44,4183367	4441,83367
	16	430*62,5	14	94,1	23,8	2239,58	53302,004	2,38	44,4183367	4441,83367
	17	430*62,5	14	94,1	30	2823	84690	3	70,575	7057,5
	18	430*62,5	14	94,1	30	2823	84690	3	70,575	7057,5
	19	430*62,5	14	94,1	36	3387,6	121953,6	3,6	101,628	10162,8
	20	430*62,5	14	94,1	36	3387,6	121953,6	3,6	101,628	10162,8
Ref costado	1	400*58	16	81,4	51	4151,4	211721,4	5,1	176,4345	17643,45
	2	400*58	16	81,4	51	4151,4	211721,4	5,1	176,4345	17643,45
	3	400*58	16	81,4	59,1	4810,74	284314,734	5,91	236,928945	23692,8945
	4	400*58	16	81,4	59,1	4810,74	284314,734	5,91	236,928945	23692,8945
	5	400*58	16	81,4	67,2	5470,08	367589,376	6,72	306,32448	30632,448
	6	400*58	16	81,4	67,2	5470,08	367589,376	6,72	306,32448	30632,448
	7	400*58	16	81,4	75,3	6129,42	461545,326	7,53	384,621105	38462,1105
	8	400*58	16	81,4	75,3	6129,42	461545,326	7,53	384,621105	38462,1105
	9	400*58	16	81,4	83,4	6788,76	566182,584	8,34	471,81882	47181,882
	10	400*58	16	81,4	83,4	6788,76	566182,584	8,34	471,81882	47181,882
	11	400*58	16	81,4	91,5	7448,1	681501,15	9,15	567,917625	56791,7625
	12	400*58	16	81,4	91,5	7448,1	681501,15	9,15	567,917625	56791,7625
	13	400*58	16	81,4	99,6	8107,44	807501,024	9,96	672,91752	67291,752
	14	400*58	16	81,4	99,6	8107,44	807501,024	9,96	672,91752	67291,752
	15	400*58	16	81,4	107,7	8766,78	944182,206	10,77	786,818505	78681,8505
	16	400*58	16	81,4	107,7	8766,78	944182,206	10,77	786,818505	78681,8505
	17	400*58	16	81,4	123,9	10085,46	1249588,494	12,39	1041,32375	104132,375
	18	400*58	16	81,4	123,9	10085,46	1249588,494	12,39	1041,32375	104132,375
	19	400*58	16	81,4	132	10744,8	1418313,6	13,2	1181,928	118192,8
	20	400*58	16	81,4	132	10744,8	1418313,6	13,2	1181,928	118192,8
	21	400*58	16	81,4	140,1	11404,14	1597720,014	14,01	1331,43335	133143,335

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

22	400*58	16	81,4	140,1	11404,14	1597720,014	14,01	1331,43335	133143,335
23	400*58	16	81,4	148,2	12063,48	1787807,736	14,82	1489,83978	148983,978
24	400*58	16	81,4	148,2	12063,48	1787807,736	14,82	1489,83978	148983,978
25	400*58	16	81,4	156,3	12722,82	1988576,766	15,63	1657,14731	165714,731
26	400*58	16	81,4	156,3	12722,82	1988576,766	15,63	1657,14731	165714,731
27	400*58	16	81,4	164,4	13382,16	2200027,104	16,44	1833,35592	183335,592
28	400*58	16	81,4	164,4	13382,16	2200027,104	16,44	1833,35592	183335,592
29	400*58	16	81,4	172,5	14041,5	2422158,75	17,25	2018,46563	201846,563
30	400*58	16	81,4	172,5	14041,5	2422158,75	17,25	2018,46563	201846,563
31	400*58	16	81,4	180,6	14700,84	2654971,704	18,06	2212,47642	221247,642
32	400*58	16	81,4	180,6	14700,84	2654971,704	18,06	2212,47642	221247,642
33	400*58	16	81,4	188,7	15360,18	2898465,966	18,87	2415,38831	241538,831
34	400*58	16	81,4	188,7	15360,18	2898465,966	18,87	2415,38831	241538,831
35	400*58	16	81,4	196,8	16019,52	3152641,536	19,68	2627,20128	262720,128
36	400*58	16	81,4	196,8	16019,52	3152641,536	19,68	2627,20128	262720,128
37	400*58	16	81,4	213	17338,2	3693036,6	21,3	3077,5305	307753,05
38	400*58	16	81,4	213	17338,2	3693036,6	21,3	3077,5305	307753,05
39	400*58	16	81,4	221,1	17997,54	3979256,094	22,11	3316,04675	331604,675
40	400*58	16	81,4	221,1	17997,54	3979256,094	22,11	3316,04675	331604,675
41	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
42	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
43	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
44	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
45	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
46	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
47	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
48	400*58	16	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
49	400*58	16	81,4	233,47	19004,458	4436970,809	23,347	3697,47567	369747,567
50	400*58	16	81,4	233,47	19004,458	4436970,809	23,347	3697,47567	369747,567

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	51	400*58	16	81,4	239,74	19514,836	4678486,783	23,974	3898,73899	389873,899
	52	400*58	16	81,4	239,74	19514,836	4678486,783	23,974	3898,73899	389873,899
	53	400*58	16	81,4	246,01	20025,214	4926402,896	24,601	4105,33575	410533,575
	54	400*58	16	81,4	246,01	20025,214	4926402,896	24,601	4105,33575	410533,575
	55	400*58	16	81,4	252,28	20535,592	5180719,15	25,228	4317,26596	431726,596
	56	400*58	16	81,4	252,28	20535,592	5180719,15	25,228	4317,26596	431726,596
	57	400*58	16	81,4	258,55	21045,97	5441435,544	25,855	4534,52962	453452,962
	58	400*58	16	81,4	258,55	21045,97	5441435,544	25,855	4534,52962	453452,962
	59	400*58	16	81,4	264,82	21556,348	5708552,077	26,482	4757,12673	475712,673
	60	400*58	16	81,4	264,82	21556,348	5708552,077	26,482	4757,12673	475712,673
	61	400*58	16	81,4	271,09	22066,726	5982068,751	27,109	4985,05729	498505,729
	62	400*58	16	81,4	271,09	22066,726	5982068,751	27,109	4985,05729	498505,729
	63	400*58	16	81,4	277,36	22577,104	6261985,565	27,736	5218,3213	521832,13
	64	400*58	16	81,4	277,36	22577,104	6261985,565	27,736	5218,3213	521832,13
	65	400*58	16	81,4	283,63	23087,482	6548302,52	28,363	5456,91877	545691,877
	66	400*58	16	81,4	283,63	23087,482	6548302,52	28,363	5456,91877	545691,877
	67	400*58	16	81,4	289,9	23597,86	6841019,614	28,99	5700,84968	570084,968
	68	400*58	16	81,4	289,9	23597,86	6841019,614	28,99	5700,84968	570084,968
	69	400*58	16	81,4	296,17	24108,238	7140136,848	29,617	5950,11404	595011,404
	70	400*58	16	81,4	296,17	24108,238	7140136,848	29,617	5950,11404	595011,404
	71	400*58	16	81,4	300	24420	7326000	30	6105	610500
	72	400*58	16	81,4	300	24420	7326000	30	6105	610500
Ref CP	1	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	2	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	3	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	4	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	5	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	6	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	7	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	8	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	9	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	10	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	11	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	12	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	13	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	14	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	15	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	16	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	17	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	18	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	19	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	20	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	21	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	22	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	23	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	24	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	25	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
	26	100*15,5	8	9,74	300	2922	876600	30	730,5	73050
Ref DF	1	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	2	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	3	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	4	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	5	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	6	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	7	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	8	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	9	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	10	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	11	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	12	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	13	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	14	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	15	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	16	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	17	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	18	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	19	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	20	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	21	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	22	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	23	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	24	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	25	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	26	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	27	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
	28	300*43	12	49,7	23,5	1167,95	27446,825	2,35	22,8723542	2287,23542
Ref Doble Cost	1	400*58	14	81,4	51	4151,4	211721,4	5,1	176,4345	17643,45
	2	400*58	14	81,4	51	4151,4	211721,4	5,1	176,4345	17643,45
	3	400*58	14	81,4	59,1	4810,74	284314,734	5,91	236,928945	23692,8945
	4	400*58	14	81,4	59,1	4810,74	284314,734	5,91	236,928945	23692,8945
	5	400*58	14	81,4	67,2	5470,08	367589,376	6,72	306,32448	30632,448
	6	400*58	14	81,4	67,2	5470,08	367589,376	6,72	306,32448	30632,448
	7	400*58	14	81,4	75,3	6129,42	461545,326	7,53	384,621105	38462,1105
	8	400*58	14	81,4	75,3	6129,42	461545,326	7,53	384,621105	38462,1105
	9	400*58	14	81,4	83,4	6788,76	566182,584	8,34	471,81882	47181,882
	10	400*58	14	81,4	83,4	6788,76	566182,584	8,34	471,81882	47181,882
	11	400*58	14	81,4	91,5	7448,1	681501,15	9,15	567,917625	56791,7625

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

12	400*58	14	81,4	91,5	7448,1	681501,15	9,15	567,917625	56791,7625
13	400*58	14	81,4	99,6	8107,44	807501,024	9,96	672,91752	67291,752
14	400*58	14	81,4	99,6	8107,44	807501,024	9,96	672,91752	67291,752
15	400*58	14	81,4	107,7	8766,78	944182,206	10,77	786,818505	78681,8505
16	400*58	14	81,4	107,7	8766,78	944182,206	10,77	786,818505	78681,8505
17	400*58	14	81,4	123,9	10085,46	1249588,494	12,39	1041,32375	104132,375
18	400*58	14	81,4	123,9	10085,46	1249588,494	12,39	1041,32375	104132,375
19	400*58	14	81,4	132	10744,8	1418313,6	13,2	1181,928	118192,8
20	400*58	14	81,4	132	10744,8	1418313,6	13,2	1181,928	118192,8
21	400*58	14	81,4	140,1	11404,14	1597720,014	14,01	1331,43335	133143,335
22	400*58	14	81,4	140,1	11404,14	1597720,014	14,01	1331,43335	133143,335
23	400*58	14	81,4	148,2	12063,48	1787807,736	14,82	1489,83978	148983,978
24	400*58	14	81,4	148,2	12063,48	1787807,736	14,82	1489,83978	148983,978
25	400*58	14	81,4	156,3	12722,82	1988576,766	15,63	1657,14731	165714,731
26	400*58	14	81,4	156,3	12722,82	1988576,766	15,63	1657,14731	165714,731
27	400*58	14	81,4	164,4	13382,16	2200027,104	16,44	1833,35592	183335,592
28	400*58	14	81,4	164,4	13382,16	2200027,104	16,44	1833,35592	183335,592
29	400*58	14	81,4	172,5	14041,5	2422158,75	17,25	2018,46563	201846,563
30	400*58	14	81,4	172,5	14041,5	2422158,75	17,25	2018,46563	201846,563
31	400*58	14	81,4	180,6	14700,84	2654971,704	18,06	2212,47642	221247,642
32	400*58	14	81,4	180,6	14700,84	2654971,704	18,06	2212,47642	221247,642
33	400*58	14	81,4	188,7	15360,18	2898465,966	18,87	2415,38831	241538,831
34	400*58	14	81,4	188,7	15360,18	2898465,966	18,87	2415,38831	241538,831
35	400*58	14	81,4	196,8	16019,52	3152641,536	19,68	2627,20128	262720,128
36	400*58	14	81,4	196,8	16019,52	3152641,536	19,68	2627,20128	262720,128
37	400*58	14	81,4	213	17338,2	3693036,6	21,3	3077,5305	307753,05
38	400*58	14	81,4	213	17338,2	3693036,6	21,3	3077,5305	307753,05
39	400*58	14	81,4	221,1	17997,54	3979256,094	22,11	3316,04675	331604,675
40	400*58	14	81,4	221,1	17997,54	3979256,094	22,11	3316,04675	331604,675

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	41	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	42	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	43	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	44	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	45	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	46	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	47	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	48	400*58	14	81,4	227,2	18494,08	4201854,976	22,72	3501,54581	350154,581
	49	400*58	14	81,4	233,47	19004,458	4436970,809	23,347	3697,47567	369747,567
	50	400*58	14	81,4	233,47	19004,458	4436970,809	23,347	3697,47567	369747,567
	51	400*58	14	81,4	239,74	19514,836	4678486,783	23,974	3898,73899	389873,899
	52	400*58	14	81,4	239,74	19514,836	4678486,783	23,974	3898,73899	389873,899
	53	400*58	14	81,4	246,01	20025,214	4926402,896	24,601	4105,33575	410533,575
	54	400*58	14	81,4	246,01	20025,214	4926402,896	24,601	4105,33575	410533,575
	55	400*58	14	81,4	252,28	20535,592	5180719,15	25,228	4317,26596	431726,596
	56	400*58	14	81,4	252,28	20535,592	5180719,15	25,228	4317,26596	431726,596
	57	400*58	14	81,4	258,55	21045,97	5441435,544	25,855	4534,52962	453452,962
	58	400*58	14	81,4	258,55	21045,97	5441435,544	25,855	4534,52962	453452,962
	59	400*58	14	81,4	264,82	21556,348	5708552,077	26,482	4757,12673	475712,673
	60	400*58	14	81,4	264,82	21556,348	5708552,077	26,482	4757,12673	475712,673
	61	400*58	14	81,4	271,09	22066,726	5982068,751	27,109	4985,05729	498505,729
	62	400*58	14	81,4	271,09	22066,726	5982068,751	27,109	4985,05729	498505,729
Ref Doble CP	1	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	2	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	3	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	4	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	5	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	6	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	7	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117

DISEÑO INICIAL DE LA ESTRUCTURA DEL BUQUE

Marina de la Peña Herrero

	8	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	9	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	10	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	11	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	12	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	13	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	14	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	15	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	16	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	17	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	18	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	19	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	20	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	21	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	22	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	23	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	24	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	25	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
	26	100*8	15,5	9,74	28,1	273,694	7690,8014	2,81	6,40900117	640,900117
Chapa Fondo	1	34000	18	6120	8,5	52020	442170	0,85	368,475	36847,5
Chapa DF	1	34000	15	5100	28	142800	3998400	2,8	3332	333200
Chapa Pantoque	1	8325	14	1165	25	29125	728125	2,5	606,770833	60677,0833
Chapa CP	1	24400	5	1220	315	384300	121054500	31,5	100878,75	10087875
Chapa Costados	1	38728	23	8907,44	124	1104522,56	136960797,4	12,4	114133,998	11413399,8
Chapa Costado	1	17890	15	2683,5	280	751380	210386400	28	175322	17532200
SUMATORIO				53594,02		5496755,488	1131851578		943209,648	94320964,8

A partir de los resultados obtenidos de la tabla anterior y de las ecuaciones que se muestran a continuación se calculará la altura del eje neutro y su inercia, además de calcular el módulo para la cubierta y el fondo.

El valor de los módulos serán los que se utilizan para compararlos con el módulo mínimo y ver si la estructura es suficientemente resistente.

Primero, la inercia respecto a la línea base de la cuaderna diseñada utilizando el teorema de Steiner y la suma de la inercia propia de cada elemento calculada con anterioridad.

$$I_{OX} = \sum I_o + \sum A \times Y_g^2$$

En segundo lugar, la posición del eje neutro de la cuaderna propuesta:

$$Y_{EN} = \frac{\sum A \times Y_G}{\sum A}$$

Haciendo uso de nuevo del teorema de Steiner, se calcula la inercia en el eje neutro:

$$I_{EjeNeutro} = I_{OX} - Y_{EN}^2 \times \sum A$$

Finalmente, se calcula el módulo para la cubierta y el fondo utilizando la siguiente expresión:

$$W_X = \frac{I_{EN}}{Y_{EN} - Y_X}$$

Resultando:

RESULTADOS	
Y_EjeNeutro	102,562851
I_ox	1226172543
I_EjeNeutro	662409628,8
Y_Fondo	10,8
Y_CP	12,93
W_Fondo	61334224,89
W_CP	51230443,07

Por tanto, el módulo resultante de la estructura es:

$$W_{Fondo} = 61.3 \text{ m}^3$$

$$W_{CP} = 51,2$$

9.2 Inercia y área mínima

Haciendo referencia al reglamento Bureau Veritas, Pt B, Ch 6, Sec 2, se presenta la siguiente ecuación:

4.2.2 For ships with C_B less than or equal to 0,8, the gross section moduli Z_{AB} and Z_{AD} at the midship section are to be not less than the value obtained, in m^3 , from the following formula:

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

In addition, the gross section moduli Z_{AB} and Z_{AD} within $0,4L$ amidships are to be not less than the value obtained, in m^3 , from the following formula:

$$Z_R = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{\sigma_{1,ALL}} 10^{-3}$$

Por tanto, siendo conocidos todos los parámetros de la ecuación, el módulo de inercia mínimo de la sección maestra resulta:

$$Z_{R,MIN} = 1 \times 10,4 \times 251,2^2 \times 41,9 \times (0,829 + 0,7) \times 1 \times 10^{-6} = 42,04 m^3$$

Este valor se utilizará para comprobar que los refuerzos calculados en los siguientes apartados cumplen con el módulo mínimo.

9.3 Comprobación de resultados

Los módulos de la estructura diseñada han de ser mayores que lo mínimos calculados, por tanto:

$$W_{Fondo} = 61.3 m^3 > 42.04 m^3$$

$$W_{CP} = 51.2 m^3 > 42.04 m^3$$

La cuaderna propuesta cumple con los mínimos establecidos por la normativa.

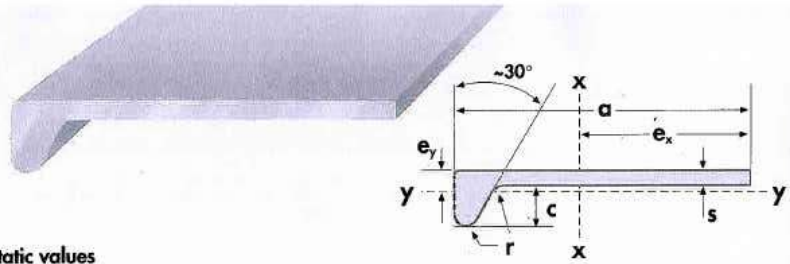
Fdo: Marina de la Peña Herrero



Ferrol, 15 de Septiembre de 2022

ANEXO I: TABLA PERFILES COMERCIALES DE REFUERZOS

Bulb Flats ROLLED



Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e _x cm	I _x cm ⁴	e _y cm	I _y cm ⁴	W _x * cm ³	Plate cross sectional area cm ²
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	0.44	0.61	13	
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	0.47	0.74	14	
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	0.51	0.88	16	
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	0.47	1.02	23	
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	0.50	1.20	25	
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	0.54	1.42	27	
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m											
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	0.51	1.71	38	
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	0.55	1.99	41	
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	0.59	2.31	45	
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	0.53	2.34	54	60
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	0.56	2.70	59	
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	0.60	3.10	63	
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	0.59	3.81	80	
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	0.63	4.33	87	
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	0.67	4.91	93	
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	0.65	5.84	110	
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	0.68	6.54	118	
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	0.71	7.30	126	
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	0.74	9.92	157	
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	0.77	10.95	166	
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	0.81	12.07	177	
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	0.84	15.75	225	
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	0.87	17.20	237	
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	0.92	19.62	255	
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	0.93	23.85	302	
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	0.98	26.91	323	
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	1.00	32.36	368	
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	1.03	34.83	391	
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	1.06	37.45	406	
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2430	1.07	42.8	455	
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	1.10	45.9	474	
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	1.13	49.1	493	
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	1.17	59.4	566	100
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3550	1.19	63.3	590	
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	1.24	75.7	671	
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	1.26	80.4	701	
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	1.29	85.3	728	
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	1.34	101	819	
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	1.36	107	849	
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	1.41	125	947	
	14	49	15	65.5	51.5	21.1	7540	1.46	139	1014	
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1.55	177	1210	
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1.59	195	1278	
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1.68	243	1580	
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1.72	267	1666	
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1.81	328	1935	150
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	1.85	356	2036	

Standard lengths

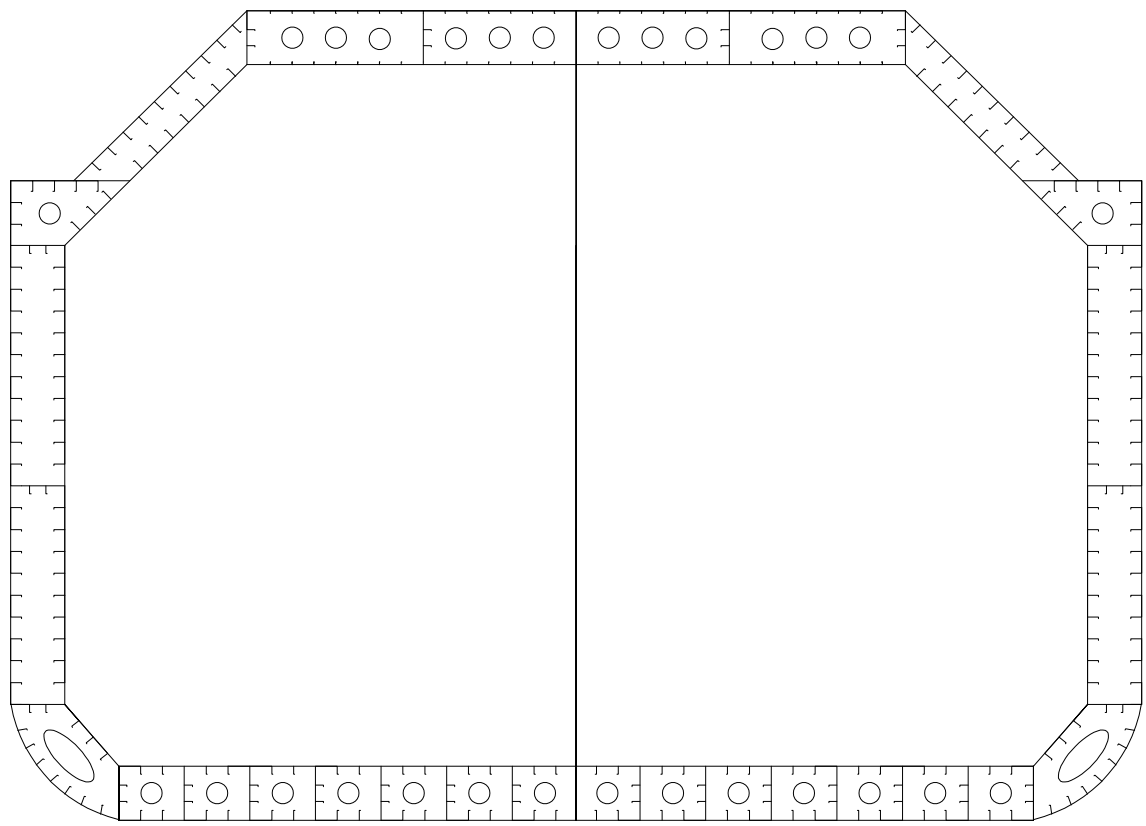
6 - 18 m
220 - 430 mm profiles available up to 25 m lengths
by special agreement.

Orders must include

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

* Inclusive plate as noted

ANEXO II: PLANO DE LA CUADERNA MAESTRA



Dimensiones de refuerzos [mm]	
Fondo	370*13*53,5
Costados	400*14*58
Doble fondo	300*12*43
Pantoque	430*15*62,5
Cubierta principal	100*8*15,5
Refuerzos vagras	300*11*43
Palmejares	340*12*49
Separación entre refuerzos [mm]	
Varengas	2500
Longitudinales Costado	810
Longitudinales DF	810
Longitudinales CP	810
Longitudinales Pantoque	840

