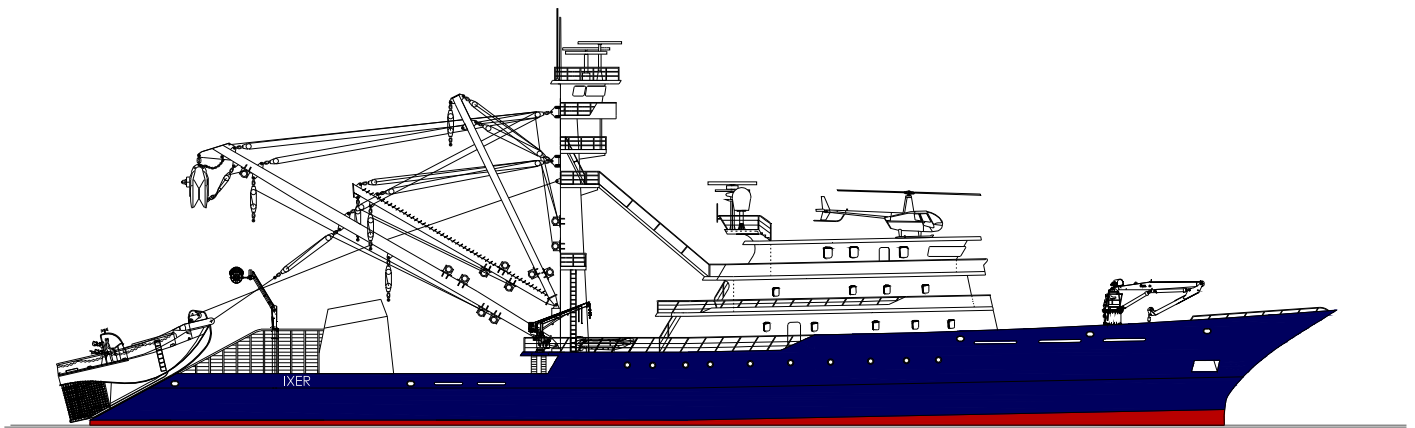


CUADERNO 8

CUADERNA MAESTRA



PROYECTO FIN DE GRADO nº 15-01

ATUNERO 2000 m³

Tutor: Vicente Diaz Casas

Alumno: Jon Iturbe Ereño
DNI: 45669459 S

✉ joniturere@gmail.com

☎ +34 609 893 454



INDICE

1. OBJETIVOS DEL CUADERNO.....	4
2. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA ESTRUCTURA Y SELECCIÓN DE MATERIALES.....	6
3. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO.	9
3.1. CALADO DE ESCANTILLONADO.....	9
3.2. ESLORA DE ESCANTILLONADO.....	10
3.3. MANGA DE ESCANTILLONADO.	11
3.4. PUNTAL DE ESCANTILLONADO.	11
3.5. COEFICIENTE DE BLOQUE.	11
3.6. DIMENSIONES FINALES DE ESCANTILLONADO.	11
4. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO.	12
4.1. PARÁMETROS DE OLA.....	13
4.2. CARGAS INDUCIDAS POR OLAS.	13
4.3. CONDICIONES DE CARGA.	14
4.4. PRESIONES INDUCIDAS POR AGUAS TRANQUILAS.....	16
4.4.1. <i>Presiones inducidas por aguas tranquilas en los costados y en el fondo del buque. ..</i>	<i>16</i>
4.4.2. <i>Presiones externas en aguas tranquilas aplicadas a las cubiertas expuestas.</i>	<i>17</i>
4.4.3. <i>Presiones externas en aguas tranquilas aplicadas a las cubiertas de acomodación. .</i>	<i>17</i>
4.5. PRESIONES INDUCIDAS POR OLAS.....	18
4.5.1. <i>Presiones inducidas por olas en los costados y en el fondo del buque.</i>	<i>18</i>
4.6. TEST DE PRESIONES INTERNAS INDUCIDAS EN TANQUES.	20
4.7. MÓDULO E INERCIA MÍNIMA DE LA SECCIÓN MAESTRA.....	21
4.7.1. <i>Módulo mínimo de la sección maestra.....</i>	<i>21</i>
4.7.2. <i>Inercia mínima de la sección maestra.</i>	<i>21</i>
4.7.3. <i>Altura del eje neutro d la sección transversal.....</i>	<i>21</i>
4.7.4. <i>Momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro.....</i>	<i>21</i>
4.8. MÁRGENES DE CORROSIÓN.	22
4.9. PARÁMETROS DE SEGURIDAD.....	23
5. CUADERNA MAESTRA. CÁLCULO DE LAS PRESIONES EN LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.	24
5.1. CHAPA DE FONDO.....	26
5.1.1. <i>Presión externa inducida por aguas tranquilas.</i>	<i>26</i>
5.1.2. <i>Presión externa inducida por olas.....</i>	<i>26</i>
5.1.3. <i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.....</i>	<i>26</i>
5.1.4. <i>Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.</i>	<i>27</i>



5.1.5.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por test.....</i>	<i>27</i>
5.2.	CHAPA DE COSTADO.....	29
5.2.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas.....</i>	<i>29</i>
5.2.2.	<i>Presión externa inducida por olas.....</i>	<i>29</i>
5.2.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.....</i>	<i>29</i>
5.2.4.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.....</i>	<i>31</i>
5.2.5.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por test.....</i>	<i>31</i>
5.3.	CHAPA DE DOBLE FONDO.....	33
5.3.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas.....</i>	<i>33</i>
5.3.2.	<i>Presión externa inducida por olas.....</i>	<i>33</i>
5.3.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.....</i>	<i>33</i>
5.3.4.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.....</i>	<i>34</i>
5.3.5.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por test.....</i>	<i>34</i>
5.4.	CHAPA DEL PANTOQUE.....	36
5.4.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas.....</i>	<i>36</i>
5.4.2.	<i>Presión externa inducida por olas.....</i>	<i>36</i>
5.4.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.....</i>	<i>36</i>
5.4.4.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.....</i>	<i>37</i>
5.4.5.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por test.....</i>	<i>37</i>
5.5.	CHAPA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.....	39
5.5.1.	<i>Presión externa inducida por aguas tranquilas.....</i>	<i>39</i>
5.5.2.	<i>Presión externa inducida por olas.....</i>	<i>39</i>
5.5.3.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.....</i>	<i>39</i>
5.5.4.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.....</i>	<i>40</i>
5.5.5.	<i>Presiones internas inducidas en tanques por test.....</i>	<i>40</i>
5.6.	CUBIERTAS DE FRANCOBORDO Y PUENTE DE NAVEGACIÓN.....	42
5.7.	CUBIERTA DEL CASTILLO.....	43
6.	CUADERNA MAESTRA. ESCANTILLONADO DE CHAPAS POR REQUERIMIENTOS LOCALES.....	44
6.1.	ESPESOR DEL FONDO.....	46
6.2.	ESPESOR DEL COSTADO.....	51
6.2.1.	<i>Escantillonado bajo de la cubierta de francobordo.....</i>	<i>51</i>
6.2.2.	<i>Escantillonado por encima de la cubierta de francobordo.....</i>	<i>55</i>
6.3.	ESPESOR DEL DOBLE FONDO.....	59
6.4.	ESPESOR DEL PANTOQUE.....	63
6.5.	ESPESOR DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.....	67
6.6.	ESPESOR DE LAS CUBIERTAS.....	70
6.7.	ESPESOR DE LA CUBIERTA DE CASTILLO.....	73
6.8.	RESUMEN DE LOS ESPESORES DE LAS CHAPAS.....	76



7. CUADERNA MAESTRA. DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS

PRIMARIOS.	77
7.1. VARENGAS	77
7.2. BULÁRCAMAS.	80
7.3. VAGRAS.	84
7.4. REFUERZOS LONGITUDINALES Y VERTICALES.....	88
7.4.1. REFUERZOS VERTICALES EN VARENGAS.....	88
7.4.2. REFUERZOS LONGITUDINALES DE COSTADO.....	90
7.4.3. BULÁRCAMAS EN ENTREPUNTE:	95
7.4.4. REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA PRINCIPAL:.....	97
7.4.5. REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA SUPERIOR:.....	99
7.4.6. BAOS FUERTES DE CUBIERTA SUPERIOR:	100
7.4.7. PUNTALES.....	102
7.4.8. REFUERZOS LONGITUDINALES DE MAMPAROS LONGITUDINALES:	104
7.4.9. REFUERZOS VERTICALES DE MAMPAROS TRANSVERSALES:	107
8. CALCULO MÓDULO RESISTENTE CUADERNA MAESTRA	109
8.1. PROCESO DE CÁLCULO	110
8.2. CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE.....	112
8.3. COMPROBACION DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	114



1. OBJETIVOS DEL CUADERNO.

El objetivo de este cuaderno es realizar el escantillonado de la estructura del buque de acuerdo con los requerimientos de la sociedad de clasificación del Bureau Veritas, tal y como exigen los RPA.

El estudio se realiza para un Buque Atunero Congelador de 2000 m³ de capacidad de cubas. La cuaderna maestra es la cuaderna 54 (bulárcama 18), y está situada a 37,700 m medidos desde la perpendicular de popa. Esta será la sección tipo del centro del buque. Se selecciona esta cuaderna como maestra debido a su posición longitudinal en el buque y la disposición de refuerzos, siendo del grupo de cuadermas más representativas de la estructura central del buque.

A un nivel más local, los elementos que constituyen la estructura del buque pueden separarse en dos grupos, que son los siguientes:

- Elementos que contribuyen a la resistencia longitudinal.
- Elementos que contribuyen a la resistencia transversal.

Se escantillonan para obtener un módulo resistente superior al mínimo exigido por las reglas de la Sociedad de Clasificación.

La estructura, como es habitual en este tipo de buques, es de tipo mixto, ya que combina un reforzado primario longitudinal en cubiertas y un reforzado primario vertical en los costados, típicos de las estructuras transversales.

Tal y como se definió en el Cuaderno 4, el buque posee doble fondo a lo largo de toda la eslora.

Partiendo de una configuración inicial basada en el compartimentado del buque, en la disposición del buque base *Egalabur* y de los datos obtenidos en los estudios de las diferentes condiciones de carga, se calcularán los espesores de las distintas chapas y los módulos de los refuerzos exigidos por las reglas de la sociedad de clasificación.

El escantillonado se modificará sucesivamente de forma que no exista pandeo en ningún elemento, se cumplan los espesores y módulos mínimos exigidos y el módulo de la sección sea superior al mínimo exigido por la Sociedad de Clasificación, tanto en cubierta como en el fondo.



Tal y como se ha mencionado, la realización de este cuaderno se hará en base al compartimentado propuesto en el Cuaderno 4 y las condiciones de carga calculadas en el Cuaderno 5, que son las siguientes:

1. Salida de puerto (100% CONSUMOS – 0% CARGA).
2. Salida de caladero (35% CONSUMOS – 100% CARGA).
3. Llegada a puerto (10% CONSUMOS – 100% CARGA).
4. Llegada a puerto (10% CONSUMOS – 20% CARGA)..

A continuación se muestran las dimensiones principales del buque:

- Lt:..... 90 m
- Lpp:75 m
- B:14,2 m
- Dcp:6,95 m
- Dcs:9,2 m
- T:6,6 m
- Fn:0,298
- Cb:0,589
- Cm:0,98
- Cp:0,597
- Cf:0,689
- Δ :4359 Tn



2. PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA ESTRUCTURA Y SELECCIÓN DE MATERIALES.

La configuración de la estructura será a habitual en este tipo de buques, el doble fondo y los costados de las cubiertas superiores con estructura transversal, las cubiertas y los costados de la zona de cubas sigue una estructura longitudinal.

A continuación se realiza una descripción de los refuerzos en las diferentes zonas de una sección tipo:

Elementos de fondo.

La configuración de mamparos por encima de la estructura de doble fondo se soportará también sobre estos refuerzos; es decir, cada mamparo se apoyará siempre en un refuerzo, y no en una clara entre dos refuerzos.

Hacia los costados, las vagras se han situado bajo los mamparos de doble costado para que el peso que recaiga sobre éstos no descansa directamente sobre la chapa de doble fondo sino sobre refuerzos. Se tendrán, pues, vagras situadas desde el plano de crujía hasta los costados con una separación de *700 mm*.

Elementos de costado.

Se situará una bulárcama cada tres claras, lo que supone un espaciado de *2100 mm* en la zona del buque a estudiar (la separación entre secciones en los piques es de *600 mm*). Estos elementos se unirán con las varengas en el doble fondo y a los baos, hacia la regala, cerrando los anillos transversales.

Elementos de cubierta.

Se situarán baos reforzados cada 3 claras de cuaderna, *2100 mm*, y reposarán en los costados sobre las bulárcamas y en los puntales, cuya colocación se mostrará más adelante.

Se emplearán longitudinales para dotar a la cubierta de resistencia longitudinal, siendo la separación entre éstos de *700mm*, de acuerdo con la disposición de vagras en el doble fondo del buque.



Puntales.

Se han ubicado puntales para reducir la luz de los baos reforzados. A estos efectos, se sitúa en crujía un puntal cada 2400 mm .

A continuación se muestra un resumen con las dimensiones principales de la estructura del buque:

SEPARACIÓN DE REFUERZOS.	
Separación entre cuadernas.	700 mm
Separación entre varengas.	2100 mm
Separación entre baos.	700 mm
Separación entre bulárcamas.	4200 mm
Separación entre baos fuertes.	4200 mm
Separación de long. en cubierta.	700 mm

Por último, se selecciona el tipo de acero a tener en cuenta en los cálculos estructurales, de acuerdo con las indicaciones de la sociedad de clasificación Bureau Veritas, en la Parte B, Ch 4, Secc 1.

El material empleado en la construcción del *Atunero de 90m de eslora* será el acero de grado A, cuyas características se definen en el reglamento, y se muestran a continuación:

Table 1 : Mechanical properties of hull steels

Steel grades $t \leq 100\text{ mm}$	Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	Ultimate minimum tensile strength R_m , in N/mm^2
A-B-D-E	235	400 - 520
AH32-DH32-EH32 FH32	315	440 - 590
AH36-DH36-EH36 FH36	355	490 - 620
AH40-DH40-EH40 FH40	390	510 - 650
Note 1: Ref.: NR216 Materials and Welding, Ch 2, Sec 1, [2]		

El módulo de Young para este acero es $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$.

La tensión elástica mínima es $R_{EH} = 235 \text{ N/mm}^2$.



El coeficiente del material k que se utilizará en diversos cálculos viene definido en la Parte B, Ch 4, Secc 1, Tabla 2, y se muestra a continuación:

Table 2 : Material factor k

R_{eH} , in N/mm ²	k
235	1,00
315	0,78
355	0,72
390	0,68



3. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO.

Las reglas para la obtención de las dimensiones de escantillonado utilizadas en este apartado vienen dadas por el reglamento de la sociedad de clasificación Bureau Veritas Pt. B, Ch. 1, Sec. 2. “SYMBOLS AND DEFINITIONS”.

3.1. CALADO DE ESCANTILLONADO.

El reglamento define este calado como el correspondiente al francobordo de verano, ya que por normativa, el buque nunca podrá navegar a un calado superior.

Sin embargo, con el fin de garantizar la estabilidad estructural para un calado superior, en caso de que el buque sufra una avería o se hayan cometido errores en la estimación del peso en rosca, se tomará como calado de escantillonado un valor superior al calado máximo obtenido tras el estudio de las condiciones de carga en el Cuaderno 5. Para ello se recoge el resumen de calados finales obtenidos en dicho cuaderno, que se muestra a continuación:

Escenario oceanográfico.		Δ [t]	T medio [m]
C.C.1	SALIDA PUERTO (100%CONS. – 0% CARGA)	3487	5,591
C.C.2	SALIDA CALADERO (35%CONS. – 100% CARGA)	4085	6,326
C.C.3	LLEGADA PUERTO (10%CONS. – 100%CARGA)	3817	5,96
C.C.4	LLEGADA PUERTO (10%CONS. – 20%CARGA)	2522	4,308

El mayor calado con el que navegará el buque se da en la C.C. 2, saliendo del caladero. Se fija como calado de escantillonado un valor 500 mm superior al calado de la C.C. 2.

$$T_{esc} = 6826 \text{ mm}$$

Se calculan los valores hidrostáticos del buque para este calado, y se muestran a continuación:



3.2. ESLORA DE ESCANTILLONADO.

La eslora de escantillonado es la distancia, en metros, medida en la línea de agua del calado de verano, desde la parte de proa de la roda hasta la parte posterior del codaste o al centro del timón cuando no hay codaste.

Dicha eslora no puede ser menor que el 96% ni puede superar el 97% de la eslora de flotación en el calado de verano. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$L_{escantillonado} = \text{máx} [0,96 \cdot L_{WL}; \text{mín} (L_{pp}; 0,97 \cdot L_{WL})]$$

$$L_{WL} = 81,98 \text{ m.}$$

$$L_{WL} \cdot 0,97 = 79,52 \text{ m}$$

$$L_{WL} \cdot 0,96 = 78,700 \text{ m}$$

$$L_{PP} = 75 \text{ m}$$

Por lo tanto, la eslora de escantillonado es igual a 78,7 m.

$$L_{ESC} = 78,7 \text{ m}$$

Displacement t	4564
Heel deg	0
Draft at FP m	6,826
Draft at AP m	6,826
Draft at LCF m	6,826
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	81,89
Beam max extents on WL m	14,2
Max sect. area m ²	90,871
Wetted Area m ²	1598,016
Waterpl. Area m ²	895,62
Prismatic coeff. (Cp)	0,598
Block coeff. (Cb)	0,561
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,947
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,77
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	35,172
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	32,492
KB m	3,908
KG m	6,6
BMt m	2,926
BML m	71,592
GMt m	0,234
GML m	68,901
KMt m	6,834
KML m	75,501
Immersion (TPc) tonne/cm	9,18
MTc tonne.m	41,933
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	18,653
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0



3.3. MANGA DE ESCANTILLONADO.

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

$$B_{esc} = 14,20 \text{ m}$$

3.4. PUNTAL DE ESCANTILLONADO.

Se toma como puntal de escantillonado el puntal de trazado del buque definido por el reglamento como la distancia vertical en metros desde la línea de base hasta la cubierta continua más alta, medida en el centro del buque.

$$D_{esc} = 9,2 \text{ m}$$

3.5. COEFICIENTE DE BLOQUE.

El coef. de bloque para las dimensiones de escantillonado se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{\Delta}{1,025 \cdot L_{esc} \cdot B_{esc} \cdot T_{esc}} = \frac{4564}{1,025 \cdot 78,7 \cdot 14,20 \cdot 6,826} = 0,583$$

El valor del desplazamiento de escantillonado se corresponde con el obtenido de las hidrostáticas para un calado de 6,826 m.

3.6. DIMENSIONES FINALES DE ESCANTILLONADO.

ATUNERO 2000m ³		
L _{escantillonado}	78,7	m
B _{escantillonado}	14.2	m
T _{escantillonado}	6,6	m
D _{escantillonado}	9,2	m
Δ _{escantillonado}	4564	ton
C _B	0,583	



4. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO.

En primer lugar se debe decidir en qué zona navegará el buque de proyecto.

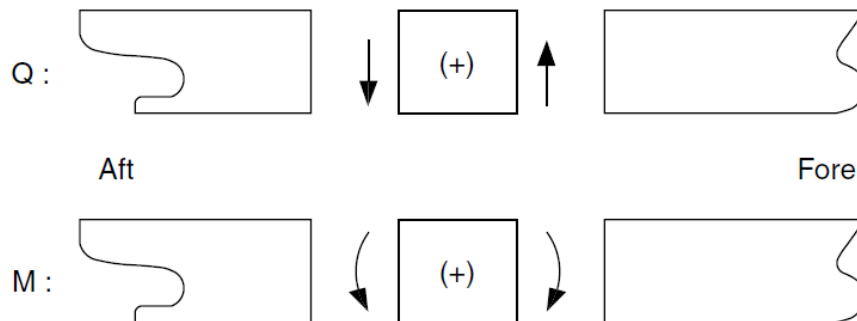
No se contempla ninguna restricción en la navegación para el buque. Se consultan los denominados coeficientes de navegación en el reglamento de Bureau Veritas, Pt B, Ch 5, Sec 1 GENERAL.

Table 1 : Navigation coefficients

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

Los coeficientes de navegación que se utilizarán para los cálculos son $n = 1$ y $n_1 = 1$.

El criterio de signos que marca el reglamento es el siguiente:





4.1. PARÁMETROS DE OLA.

A continuación, se definen los parámetros que definen la ola. Según se indica en el reglamento de Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 2 HULL GIRDER LOADS:

$$C = (118 - 0,36 \cdot L) \cdot \frac{L}{1000} = (118 - 0,36 \cdot 78,7) \cdot \frac{78,7}{1000} = 7,056$$

$$H_W = 11,44 - \left| \frac{L - 250}{110} \right|^3 = 11,44 - \left| \frac{78,7 - 250}{110} \right|^3 = 7,663$$

4.2. CARGAS INDUCIDAS POR OLAS.

Según se indica en el reglamento de Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 2 HULL GIRDER LOADS, las cargas debidas a olas, en quebranto y arrufo, en kN/m, para momentos flectores máximos.

Momento flector por olas en la condición de arrufo.

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

Se sustituyen los valores hasta obtener el siguiente resultado:

$$M_{WV,S} = -110 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,056 \cdot (78,7^2) \cdot 14,20 \cdot (0,583 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -87.582,17 \frac{kN}{m}$$

Momento flector por olas en la condición de quebranto.

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

Se sustituyen los valores hasta obtener el siguiente resultado:

$$M_{WV,H} = 190 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,863 \cdot (61,056^2) \cdot 14,10 \cdot 0,694 \cdot 10^{-3} = 40.610,937 \frac{kN}{m}$$

Donde F_M es el factor de distribución del momento, extraído de la siguiente tabla:



Table 1 : Distribution factor F_M

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

Se toma $F_M = 1$ para calcular los momentos flectores máximos por olas.

4.3. CONDICIONES DE CARGA.

Según se indica en el reglamento de Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 4 LOAD CASES, existen cuatro condiciones de carga, a saber: “a”, “b”, “c” y “d”.

- Condición A: El buque esta adrizado y las olas producen únicamente un momento flector y una fuerza cortante.
- Condición B: El barco esta adrizado y las olas producen un momento flector, una fuerza cortante y también movimientos relativos de cabeceo (Pitch) y arfada (Heave).
- Condición C: El barco esta escorado y las olas producen un momento flector, una fuerza cortante vertical, momento flector horizontal, un momento torsor y también movimientos relativos de deriva (Sway), guiñada (Yaw) y balance (Roll).
- Condición D: El barco esta escorado y las olas producen un momento flector vertical, una fuerza cortante vertical, momento flector horizontal, y también movimientos relativos de deriva (Sway), guiñada (Yaw) y balance (Roll).

Por tanto, los cálculos para las secciones a estudiar se harán para la condición de carga A.



Las condiciones de carga definidas por el reglamento se muestran a continuación:

Figure 1 : Wave loads in load case “a”

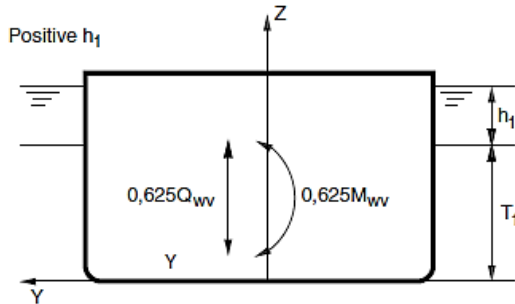


Figure 3 : Wave loads in load case “c”

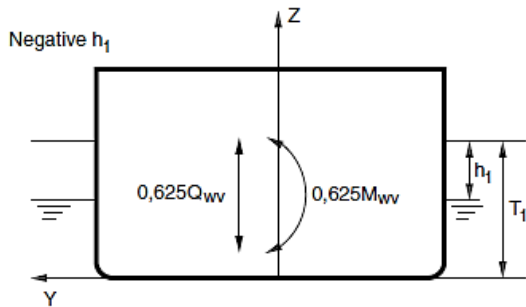
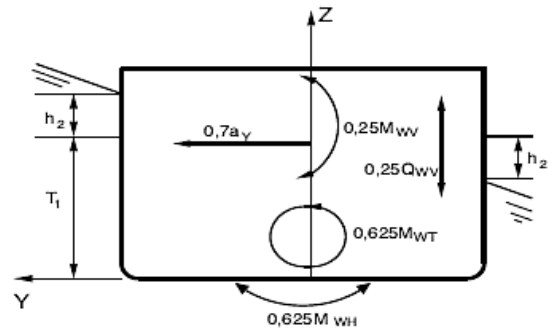


Figure 4 : Wave loads in load case “d”

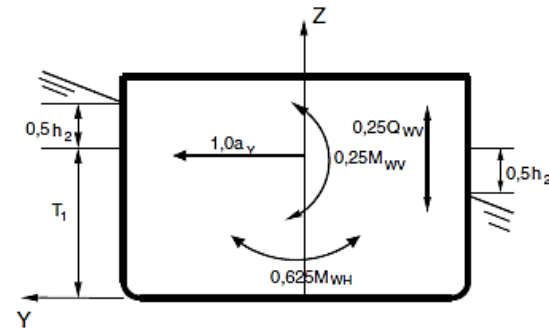
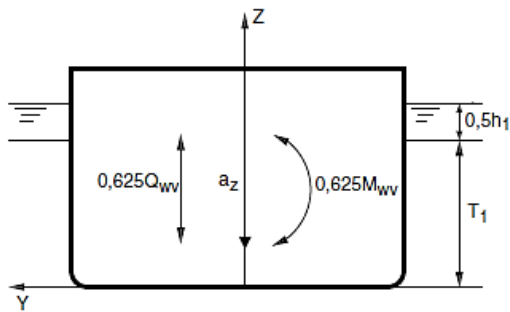


Figure 2 : Wave loads in load case “b”





4.4. PRESIONES INDUCIDAS POR AGUAS TRANQUILAS.

4.4.1. Presiones inducidas por aguas tranquilas en los costados y en el fondo del buque.

Según se indica en Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 3.1 STILL WATERS AND WAVES PRESURES, la presión inducida por las aguas tranquilas se muestra a continuación:

Figure 1 : Still water and wave pressures

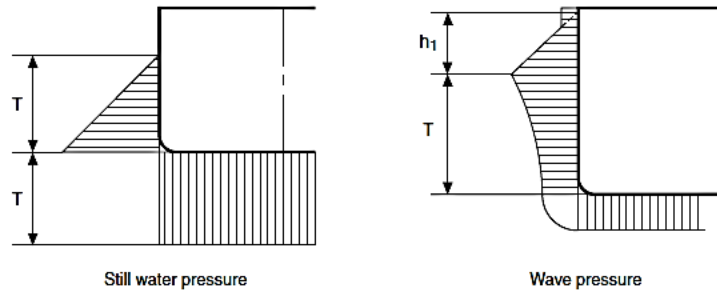


Table 5 : Still water and wave pressures

Location	Still water pressure p_s , in kN/m^2	Wave pressure p_w , in kN/m^2
Bottom and side below the waterline $z \leq T$	$\rho g (T - z)$	$\rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}}$
Side above the waterline $z > T$	0	$\rho g (T + h_1 - z)$ without being taken less than 0,15 L
Exposed decks	Pressure due to the load carried (1)	$17,5n\phi_1\phi_2$ for $0 \leq x \leq 0,5L$ $\left\{ 17,5 + \left[\frac{19,6\sqrt{H_F} - 17,5}{0,25} \right] \left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) \right\} n\phi_1\phi_2$ for $0,5L < x < 0,75L$ $19,6n\phi_1\phi_2\sqrt{H}$ for $0,75L \leq x \leq L$

Las presiones inducidas en el fondo y el costado del buque son las siguientes:

$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z)$, bajo la línea de agua correspondiente al calado de escantillonado.

$P_s = 0$, por encima de la línea de agua.

La presión en el fondo del buque se calcula para $z=0$. Se muestra a continuación:

$$P_s = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 - 0) = 66,29 \text{ kN/m}^2$$



4.4.2. Presiones externas en aguas tranquilas aplicadas a las cubiertas expuestas.

Esta presión se debe a la carga en cubierta, y debe ser indicada por el proyectista. El valor mínimo exigido por el reglamento es el siguiente:

$$P_{S-Deck} = 10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$$

Donde,

$$\varphi_1 = 1$$

$$\varphi_2 = \frac{L}{120}, \text{ para buques cuya eslora es inferior a 120 m.}$$

$$P_{S-DECK} = 10 \cdot 1 \cdot \frac{78,7}{120} = 5,09 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3. Presiones externas en aguas tranquilas aplicadas a las cubiertas de acomodación.

Se proponen valores de presión estándar para las cubiertas no expuestas, según el tipo de acomodación. Se muestra a continuación:

**Table 13 : Accommodation
 Still water and inertial pressures**

Still water pressure p_s , in kN/m ²	Inertial pressure p_w , in kN/m ²
The value of p_s is defined in Tab 14 depending on the type of the accommodation compartment	$p_s \frac{a_{z1}}{g}$

**Table 14 : Still water deck pressure
 in accommodation compartments**

Type of accommodation compartment	p_s , in kN/m ²
Large public spaces, such as: restaurants, halls, cinemas, lounges	5,0
Large rooms, such as: • rooms with fixed furniture • games and hobbies rooms, hospitals	3,0
Cabins	3,0
Other compartments	2,5



4.5. PRESIONES INDUCIDAS POR OLAS.

Tal y como se indica en el apartado anterior, se toman los valores que indica el reglamento para buques cuya eslora es inferior a 85 m.

Figure 1 : Still water and wave pressures

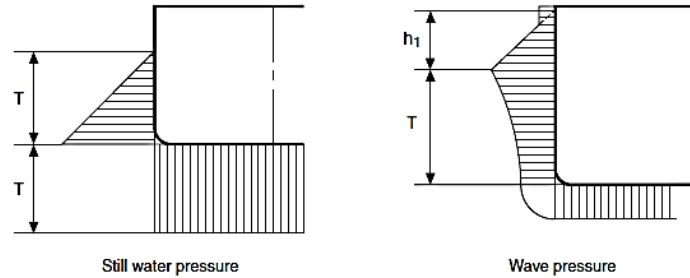


Table 5 : Still water and wave pressures

Location	Still water pressure p_s , in kN/m^2	Wave pressure p_w , in kN/m^2
Bottom and side below the waterline $z \leq T$	$\rho g (T - z)$	$\rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}}$
Side above the waterline $z > T$	0	$\rho g (T + h_1 - z)$ without being taken less than $0,15 L$
Exposed decks	Pressure due to the load carried (1)	$17,5n\varphi_1\varphi_2$ for $0 \leq x \leq 0,5L$ $\left\{ 17,5 + \left[\frac{19,6\sqrt{H_F} - 17,5}{0,25} \right] \left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) \right\} n\varphi_1\varphi_2$ for $0,5L < x < 0,75L$ $19,6n\varphi_1\varphi_2\sqrt{H}$ for $0,75L \leq x \leq L$

4.5.1. Presiones inducidas por olas en los costados y en el fondo del buque.

$\rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T-z)}{L}}$, para zonas por debajo del calado de escantillado.

$\rho \cdot g \cdot (T + h_1 - z) > 0,15 \cdot L$, para zonas por encima del calado de escantillado.

$17,5 + \left[\frac{19,6 \cdot \sqrt{H_F} - 17,5}{0,25} \right] \cdot \left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$, en cubiertas expuestas (en la mitad del buque).

Es necesario calcular, en primer lugar, los parámetros h_1 y H_F , que vienen fijados por el reglamento según se muestra a continuación:

$h_1 = 0,42 \cdot n \cdot C \cdot (C_B + 0,7) = 0,42 \cdot 1 \cdot 7,056 \cdot (0,583 + 0,7)$, para la mitad del buque.

$$h_1 = 3,802$$



$$H_F = \left[2,66 \cdot \left(\frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 + 0,14 \right] \cdot \sqrt{\frac{VL}{C_B}} - (z - T) > 0,8$$

$$H_F = 5,225$$

La presión en el fondo del buque debida a las olas es la siguiente:

$$P_{w-Fondo} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T-z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 3,802 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (6,6-0)}{78,7}} = 22,571 \text{ kN/m}^2$$

La presión en el costado por encima del calado de escantillonado es la siguiente:

$$\begin{aligned} P_{w\ side} &= \rho \cdot g \cdot (T + h_1 - z) = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (0)}{L}} = \rho \cdot g \cdot h_1 \\ &= 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 + 3,802 - 6,6) = 38,23 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

La presión en cubiertas expuestas es la siguiente:

$$P_{w-exposed\ decks} = 17,5 + \left[\frac{19,6 \cdot \sqrt{H_F} - 17,5}{0,25} \right] \cdot \left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 17,5 \text{ kN/m}^2$$

Este valor se debe a que $\left(\frac{x}{L} - 0,5 \right) = 0$.



4.6. TEST DE PRESIONES INTERNAS INDUCIDAS EN TANQUES.

El test de presiones en los tanques consiste en aumentar la presión en el interior del tanque hasta un cierto límite para comprobar que el tanque soporta dicha presión. Estas pruebas se realizan en dique y, por lo tanto, no se consideran presiones debido a cargas inerciales.

La presión interna inducida en tanques que actúa en chapas y refuerzos como consecuencia de los test se debe considerar, en kN/m^2 , según la formulación de la tabla siguiente.

Table 17 : Still water pressures

Compartment or structure to be tested	Still water pressure p_{ST} , in kN/m^2
Double bottom tanks	The greater of the following: $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 (z_{ml} - z)$ where: z_{ml} : Z co-ordinate, in m, of the margin line (1)
Double side tanks, fore and after peaks used as tank, cofferdams	The greater of the following: $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 0,3 H]$ H : Height, in m, of a tank, with: $0,9 \leq 0,3 H \leq 2,4$ For ships greater than 40 m, 0,3 H is not to be taken less than 2,4 m
Tank bulkheads, deep tanks, fuel oil bunkers	The greatest of the following: $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + d_{AP}]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 0,3 H]$ $p_{ST} = 10 [(z_{TOP} - z) + 10 p_{PV}]$ where: p_{PV} : Setting pressure, in bar, of the safety relief valves, where relevant
Fore peak not used as tank	The greater of the following: $p_{ST} = 10 (z_F - z)$ $p_{ST} = 10 (z_{ml} - z)$ where: z_F : As defined in Tab 16 z_{ml} : Z co-ordinate, in m, of the margin line (1)
Chain locker (if aft of collision bulkhead)	$p_{ST} = 10 (z_{TOP} - z)$
(1) The margin line is a line drawn at least 76mm below the upper surface of: <ul style="list-style-type: none"> • the bulkhead deck at side for passenger ships • the freeboard deck at side for cargo ships. 	



4.7. MÓDULO E INERCIA MÍNIMA DE LA SECCIÓN MAESTRA.

En el Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 2 HULL GIRDER STRENGTH, se indica cuál es el módulo mínimo que se le exige a la sección transversal y su inercia mínima.

4.7.1. Módulo mínimo de la sección maestra.

2.2 Section modulus

2.2.1 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:

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

Los parámetros definidos en la expresión ya han sido definidos anteriormente. El módulo mínimo en la sección media del buque se calcula a continuación:

$$\begin{aligned} Z_{R\ Min} &= n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot k \cdot 10^{-6} \\ &= 1 \cdot 7,056 \cdot 78,7^2 \cdot 14,20 \cdot (0,583 + 0,7) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,796 m^3 \end{aligned}$$

4.7.2. Inercia mínima de la sección maestra.

El momento de inercia, en m^4 , no debe ser menor que el obtenido por la siguiente fórmula:

$$I_{\square R} = 3 \cdot Z'_{R,Min} \cdot L \cdot 10^{-2}$$

Sustituyendo por los valores anteriormente calculados se tiene lo siguiente:

$$I_{YR} = 3 \cdot 0,796 \cdot 78,7 \cdot 10^{-2} = 1,879 m^4$$

4.7.3. Altura del eje neutro d la sección transversal.

En una primera aproximación, se supone que el eje neutro se halla en la mitad del puntal de la sección maestra. Por tanto,

$$N = \frac{9,2 m}{2} = 4,6 m$$

4.7.4. Momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro.

Para una primera aproximación se puede estimar el momento de inercia mediante la siguiente expresión:

$$I_y = 2 \cdot N \cdot Z_{mín} = 2 \cdot 4,6 m \cdot 0,796 m^3 = 7,32 m^4$$



4.8. MÁRGENES DE CORROSIÓN.

Se indican en Bureau Veritas Pt B, Ch 4, Sec. 2 NET SCANTLING APPROACH, los márgenes de corrosión aplicables.

Table 2 : Corrosion additions t_c , In mm, for each exposed side

Compartment type		General (1)	Special cases
Ballast tank (2)		1,00	1,25 in upper zone (6)
Cargo oil tank and fuel oil tank (3)	Plating of horizontal surfaces	0,75	1,00 in upper zone (6)
	Plating of non-horizontal surfaces	0,50	1,00 in upper zone (6)
	Ordinary stiffeners and primary supporting members	0,75	1,00 in upper zone (6)
Independant tank of ships with service notation liquefied gas carrier (4)		0,00	
Cofferdam in cargo area of ships with the service notation liquefied gas carrier		1,00	
Dry bulk cargo hold (5)	General	1,00	
	Inner bottom plating Side plating for single hull ship Inner side plating for double hull ship Sloping stool plate of hopper tanks and lower stool Transverse bulkhead plating	1,75	
	Frames, ordinary stiffeners and primary supporting members	1,00	1,50 in lower zone (7)
Compartment located between independant tank and inner side of ships with the additional service feature asphalt carrier		1,00	
Hopper well of dredging ships		2,00	
Accommodation space		0,00	
Compartments other than those mentioned above		0,50	
Outside sea and air			
<p>(1) General: corrosion additions t_c are applicable to all members of the considered item with possible exceptions given for upper and lower zones.</p> <p>(2) Ballast tank: does not include cargo oil tanks which may carry ballast according to Regulation 13 of MARPOL 73/78.</p> <p>(3) For ships with the service notation chemical tanker ESP, the corrosion addition t_c may be taken equal to 0 for cargo tanks covered with a protective lining or coating (see IBC, 6).</p> <p>(4) The corrosion addition t_c specified for cargo tanks is to be applied when required in IGC, 4.5.2.</p> <p>(5) Dry bulk cargo hold: includes holds, intended for the carriage of dry bulk cargoes, which may carry oil or water ballast.</p> <p>(6) Upper zone: area within 1,5 m below the top of the tank or the hold. This is not to be applied to tanks in the double bottom.</p> <p>(7) Lower zone: area within 3 m above the bottom of the tank or the hold.</p>			



4.9. PARÁMETROS DE SEGURIDAD.

Se aplicarán parámetros de seguridad en los futuros cálculos de escantillonado.

Parámetros de seguridad en chapas.

Se pueden consultar en la Parte B, Cap. 8, Secc. 3, Tabla 1.

Table 1 : Plating - Partial safety factors

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Strength check of plating subjected to lateral pressure		
		General	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] and [3.5.3]
Still water hull girder loads	γ_{S1}	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Wave hull girder loads	γ_{W1}	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Still water pressure	γ_{S2}	1,00	1,00	1,00
Wave pressure	γ_{W2}	1,20	1,20	Not applicable
Material	γ_m	1,02	1,02	1,02
Resistance	γ_R	1,20	1,05 (2)	1,05

(1) Applies only to plating to be checked in flooding conditions
(2) For plating of the collision bulkhead, $\gamma_R = 1,25$

Parámetros de seguridad en refuerzos.

Se pueden consultar en la Parte B, Cap- 8, Secc. 4, Tabla 1.

Table 1 : Ordinary stiffeners - Partial safety factors

Partial safety factors covering uncertainties regarding:	Symbol	Yielding check		
		General	Flooding pressure (1)	Testing check
		see [3.3] to [3.5]	see [3.6]	see [3.7]
Still water hull girder loads	γ_{S1}	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Wave hull girder loads	γ_{W1}	Not applicable	Not applicable	Not applicable
Still water pressure	γ_{S2}	1,00	1,00	1,00
Wave pressure	γ_{W2}	1,20	1,05	Not applicable
Material	γ_m	1,02	1,02	1,02
Resistance	γ_R	1,02	1,02 (2)	1,20

(1) Applies only to ordinary stiffeners to be checked in flooding conditions
(2) For ordinary stiffeners of the collision bulkhead, $\gamma_R = 1,25$



5. CUADERNA MAESTRA. CÁLCULO DE LAS PRESIONES EN LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.

En este apartado se calcularán las presiones que actúan sobre cada una de las zonas del buque.

Estas presiones han sido definidas y analizadas en el apartado anterior. Es por este motivo que las fórmulas y los valores de parámetros específicos utilizados que se emplearán en este apartado se obtendrán directamente del apartado anterior.

Los elementos de la estructura sobre los que se va a realizar el estudio de las presiones son los siguientes.

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

Las distintas presiones recogidas en el reglamento Bureau Veritas que pueden afectar a los distintos elementos son las siguientes:

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

Además de las presiones citadas, el Bureau Veritas considera una presión denominada presión de inundación que tiene una componente estática y otra inercial. Esta presión de inundación debe ser considerada en elementos estructurales situados por debajo de la línea de flotación (excluyendo el costado y el fondo) que constituyen límites de compartimentos susceptibles de ser inundados y que no están diseñados para transportar carga.

En la sección tipo considerada no hay ningún espacio susceptible de inundación que no esté pensado para llevar carga líquida, por lo tanto, la presión de inundación no se tendrá en cuenta.



Es de vital importancia realizar un estudio detallado de todas las presiones ya que será la presión mayor que afecte a cada uno de los elementos la que condicionará su escantillonado local.



5.1. CHAPA DE FONDO.

5.1.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas.

La presión inducida por aguas tranquilas en el fondo, debajo de la línea de agua ha sido definida en el presente cuaderno.

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 - 0) = 66,36 \text{ kN/m}^2$$

5.1.2. Presión externa inducida por olas.

La presión inducida por olas en el fondo, debajo de la línea de agua ha sido definida en el cuaderno.

$$P_{w-Fondo} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T-z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 3,802 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (6,6-0)}{78,7}} = 22,571 \text{ kN/m}^2$$

5.1.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.

En el caso de la chapa del fondo, en ésta se distribuyen los tanques de combustible del doble fondo. Se considera que la situación más desfavorable se produce cuando los tanques de combustible del doble fondo están llenos.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos, en kN/m^2 de las siguientes fórmulas:

- $P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z)$
- $P_S = \rho_L \cdot g \cdot (Z_{TOP} - z) + 100 \cdot P_{PV}$
- $P_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right)$

Donde,

- L_1 : es la eslora del mamparo, en m, que no debe ser superior a 200 m.
- ρ_L : es la densidad del líquido transportado en $\frac{t}{m^3}$
- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque en m.
- Z_L : es la coordenada Z del punto más alto del líquido en m.
$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AP} - Z_{TOP})$$
- Z_{AP} : es la coordenada Z de la parte superior del tubo de aireación, en m.
- P_{PV} : es la presión de ajuste de las válvulas de seguridad, en bar.



Tanques de combustible:

- $L_1 = 12,6 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,852 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 1,500 \text{ m}$
- $Z_L = 1,5 + 0,5 \cdot (9,9 + 0,7 - 1,5) = 6,05 \text{ m}$
- $Z_{AP} = 9,2 + 0,7 = 9,9 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$1^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot (6,05 - 0) = 50,56 \text{ kN/m}^2$$

$$2^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot (1,5 - 0) + 100 \cdot 0,7 = 82,53 \text{ kN/m}^2$$

$$3^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 12,6}{420 - 12,6} \right) = 0,248 \text{ kN/m}^2$$

La mayor presión es de 82,53 kN/m²

5.1.4. Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.

Tal y como viene definido en el reglamento del Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 6 INTERNAL PRESSURES AND FORCES (Tabla 1), en la condición de carga “a” no se deben tener en cuenta las presiones inerciales.

5.1.5. Presiones internas inducidas en tanques por test.

Será la mayor calculada a partir de las siguientes expresiones:

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

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

Donde,

- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque, en m .
- z_{ml} : es la coordenada Z de la línea de margen, en m .
- La línea de margen es en buques de carga, una línea dibujada al menos 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo.
- d_{AP} : es la distancia desde la parte superior del tubo de aireación hasta el techo del compartimento, en m .



Tanques de combustible:

- $Z_{TOP} = 1,500 \text{ m}$
- $z_{ml} = 9,2 - 0,076 = 9,124 \text{ m}$
- $d_{AP} = 9,2 - 1,5 + 0,76 = 8,46 \text{ m}$
- $Z = 0 \text{ m}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$P_{ST} = 10 \cdot [(1,5 - 0) + 8,46] = 126,9 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (9,124 - 0) = 91,24 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, se tomará la presión de $126,9 \text{ kN/m}^2$.

CHAPA DEL FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 66,36 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 22,57 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible.	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 126,9 \text{ kN/m}^2$



5.2. CHAPA DE COSTADO.

5.2.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas.

La presión inducida por aguas tranquilas en el costado, debajo de la línea de agua ha sido definida en el apartado 4.5.1 del presente cuaderno.

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 - 1,50) = 36,60 \text{ kN/m}^2$$

5.2.2. Presión externa inducida por olas.

La presión inducida por olas en el costado, debajo de la línea de agua ha sido definida en el apartado 4.6.1 del presente cuaderno.

$$P_{w-Fondo} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T-z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 3,802 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (6,6-1,5)}{78,7}} = 25,44 \text{ kN/m}^2$$

5.2.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.

En el caso de la chapa del costado, en ésta se extiende un tanque combustible y las cubas de congelación y almacenamiento de tunidos. Se considera que la situación más desfavorable se produce cuando los tanques estén llenos.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos, en kN/m^2 de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} P_S &= \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) \\ P_S &= \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot P_{PV} \\ P_S &= \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) \end{aligned}$$

Donde,

- L_1 : es la eslora del mamparo, en m, que no debe ser superior a 200 m.
- ρ_L : es la densidad del líquido transportado en $\frac{t}{m^3}$
- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque en m.
- Z_L : es la coordenada Z del punto más alto del líquido en m.
$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AP} + Z_{TOP})$$
- Z_{AP} : es la coordenada Z de la parte superior del tubo de aireación, en m.
- P_{PV} : es la presión de ajuste de las válvulas de seguridad, en bar.



Tanques de combustible:

- $L_1 = 12,6 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,852 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 1,5 \text{ m}$
- $Z_L = 9,2 + 0,5 \cdot (0,76 - 9,2) = 4,98$
- $Z_{AP} = 0,76 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} 1^\circ) P_S &= 0,852 \cdot 9,81 \cdot (4,98 - 1,50) = 30,07 \text{ kN/m}^2 \\ 2^\circ) P_S &= 0,852 \cdot 9,81 \cdot (1,5 - 1,5) + 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ kN/m}^2 \\ 3^\circ) P_S &= 0,852 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 12,6}{420 - 12,6} \right) = 0,248 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

La mayor presión es de 70 kN/m^2

Tanques de congelación y almacenamiento de tunidos:

- $L_1 = 3,2 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,7 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 6,7 \text{ m}$
- $Z_L = 9,2 + 0,5 \cdot (0,76 - 9,2) = 4,98$
- $Z_{AP} = 0,76 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} 1^\circ) P_S &= 0,7 \cdot 9,81 \cdot (4,98 - 1,50) = 23,89 \text{ kN/m}^2 \\ 2^\circ) P_S &= 0,7 \cdot 9,81 \cdot (6,7 - 1,5) + 100 \cdot 0,7 = 105,70 \text{ kN/m}^2 \\ 3^\circ) P_S &= 0,7 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 3,2}{420 - 3,2} \right) = 0,04 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

La mayor presión es de $105,7 \text{ kN/m}^2$



5.2.4. Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.

Tal y como viene definido en el reglamento del Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 6 INTERNAL PRESSURES AND FORCES (Tabla 1), en la condición de carga “a” no se deben tener en cuenta las presiones inerciales.

5.2.5. Presiones internas inducidas en tanques por test.

Será la mayor calculada a partir de las siguientes expresiones:

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

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

Donde,

- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque, en m .
- z_{ml} : es la coordenada Z de la línea de margen, en m .
- La línea de margen es en buques de carga, una línea dibujada al menos 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo.
- d_{AP} : es la distancia desde la parte superior del tubo de aireación hasta el techo del compartimento, en m .

Tanques de combustible:

- $Z_{TOP} = 1,5m$
- $z_{ml} = 1,5 - 0,076 = 1,426 m$
- $d_{AP} = 0,76 m$
- $Z = 1,5 m$

$$P_{ST} = 10 \cdot [(9,2 - 1,50) + 0,76] = 84,6 kN/m^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (9,124 - 1,50) = 76,24 kN/m^2$$

Por lo tanto, se tomará la presión de $76,4 kN/m^2$.

Tanques de congelación y almacenamiento:

- $Z_{TOP} = 6,7m$
- $z_{ml} = 6,7 - 0,076 = 6,626 m$
- $d_{AP} = 0,76 m$
- $Z = 1,5 m$

$$P_{ST} = 10 \cdot [(6,7 - 1,50) + 0,76] = 59,6 kN/m^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (6,626 - 1,50) = 51,26 kN/m^2$$



Por lo tanto, se tomará la presión de $59,6 \text{ kN/m}^2$.

CHAPA DE COSTADO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_S = 36,60 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_S = 25,448 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_S = 70 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 76,4 \text{ kN/m}^2$
Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_S = 105,7 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 59,6 \text{ kN/m}^2$

Para el cálculo de escantillonado de chapa, esta presión se añadirá hasta 500 mm por encima de la línea de calado y 750 mm por debajo de la misma.

Para el cálculo de escantillonado de los refuerzos, esta presión se añadirá hasta 1000 mm por encima de la línea de calado y 1300 mm por debajo de la misma.



5.3. CHAPA DE DOBLE FONDO.

5.3.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas.

No hay ninguna presión inducida por aguas tranquilas en el doble fondo.

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

5.3.2. Presión externa inducida por olas.

No hay ninguna presión inducida por olas en el doble fondo.

$$P_{w-Fondo} = 0 \text{ kN/m}^2$$

5.3.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.

En el caso de la chapa del fondo, en ésta se distribuyen las cubas de almacenamiento y congelación de tunidos. Se considera que la situación más desfavorable se produce cuando los tanques de lastre del doble fondo están llenos.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos, en kN/m^2 de las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z)$$
$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot P_{PV}$$
$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right)$$

Donde,

- L_1 : es la eslora del mamparo, en m, que no debe ser superior a 200 m.
- ρ_L : es la densidad del líquido transportado en $\frac{t}{m^3}$
- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque en m.
- Z_L : es la coordenada Z del punto más alto del líquido en m.
$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AP} - Z_{TOP})$$
- Z_{AP} : es la coordenada Z de la parte superior del tubo de aireación, en m.
- P_{PV} : es la presión de ajuste de las válvulas de seguridad, en bar.



Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos:

- $L_1 = 3,2 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,7 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 6,7 \text{ m}$
- $Z_L = 6,7 + 0,5 \cdot (9,96 - 6,7) = 8,33 \text{ m}$
- $Z_{AP} = 9,2 + 0,76 = 9,96 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$1^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot (8,33 - 1,5) = 46,901 \text{ kN/m}^2$$

$$2^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot (6,7 - 1,5) + 100 \cdot 0,7 = 105,708 \text{ kN/m}^2$$

$$3^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 3,2}{420 - 3,2} \right) = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

La mayor presión es de 105,708 kN/m²

5.3.4. Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.

Tal y como viene definido en el reglamento del Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 6 INTERNAL PRESSURES AND FORCES (Tabla 1), en la condición de carga “a” no se deben tener en cuenta las presiones inerciales.

5.3.5. Presiones internas inducidas en tanques por test.

Será la mayor calculada a partir de las siguientes expresiones:

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

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

Donde:

- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque, en m .
- z_{ml} : es la coordenada Z de la línea de margen, en m .
- La línea de margen es en buques de carga, una línea dibujada al menos 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo.
- d_{AP} : es la distancia desde la parte superior del tubo de aireación hasta el techo del compartimento, en m .

Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos:

- $Z_{TOP} = 6,7 \text{ m}$
- $z_{ml} = 9,2 - 0,076 = 9,124 \text{ m}$
- $d_{AP} = 9,2 - 1,5 + 0,76 = 8,46 \text{ m}$
- $Z = 1,5 \text{ m}$



Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$P_{ST} = 10 \cdot [(6,7 - 1,5) + 8,46] = 196,6 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (9,124 - 1,5) = 76,24 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, se tomará la presión de $136,6 \text{ kN/m}^2$.

CHAPA DEL DOBLE FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_S = 0 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_S = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
<i>Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos</i>	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_S = 105,708 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 196,6 \text{ kN/m}^2$



5.4. CHAPA DEL PANTOQUE.

5.4.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas.

La presión inducida por aguas tranquilas en la chapa del pantoque, debajo de la línea de agua ha sido definida en el apartado 4.5.1 del presente cuaderno.

$$P_s = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 - 1,50) = 51,281 \text{ kN/m}^2$$

5.4.2. Presión externa inducida por olas.

La presión inducida por olas en el pantoque, debajo de la línea de agua ha sido definida en el apartado 4.6.1 del presente cuaderno.

$$P_{w-Fondo} = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T-z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 3,802 \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (6,6-0)}{78,7}} = 22,571 \text{ kN/m}^2$$

5.4.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.

En el caso de la chapa del pantoque, en ésta se extiende un tanque de combustible. Se considera que la situación más desfavorable se produce cuando el tanque de lastre está lleno.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos, en kN/m^2 de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} P_S &= \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) \\ P_S &= \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot P_{PV} \\ P_S &= \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) \end{aligned}$$

Donde,

- L_1 : es la eslora del mamparo, en m, que no debe ser superior a 200 m.
- ρ_L : es la densidad del líquido transportado en $\frac{t}{m^3}$
- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque en m.
- Z_L : es la coordenada Z del punto más alto del líquido en m.
$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AP} - Z_{TOP})$$
- Z_{AP} : es la coordenada Z de la parte superior del tubo de aireación, en m.
- P_{PV} : es la presión de ajuste de las válvulas de seguridad, en bar.



Tanques de combustible:

- $L_1 = 12,6 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,852 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 1,5 \text{ m}$
- $Z_L = 1,5 + 0,5 \cdot (0,76 - 1,5) = 1,13$
- $Z_{AP} = 0,76 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$1^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot (1,13 - 0) = 9,444 \text{ kN/m}^2$$

$$2^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot (1,5 - 0) + 100 \cdot 0,7 = 82,53 \text{ kN/m}^2$$

$$3^\circ) P_S = 0,852 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 12,6}{420 - 12,6} \right) = 0,206 \text{ kN/m}^2$$

La mayor presión es de 82,53 kN/m²

5.4.4. Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.

Tal y como viene definido en el reglamento del Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 6 INTERNAL PRESSURES AND FORCES (Tabla 1), en la condición de carga “a” no se deben tener en cuenta las presiones inerciales.

5.4.5. Presiones internas inducidas en tanques por test.

Será la mayor calculada a partir de las siguientes expresiones:

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

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

Donde,

- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque, en m .
- z_{ml} : es la coordenada Z de la línea de margen, en m .
- La línea de margen es en buques de carga, una línea dibujada al menos 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo.
- d_{AP} : es la distancia desde la parte superior del tubo de aireación hasta el techo del compartimento, en m .



Tanques de combustible:

- $Z_{TOP} = 1,50 \text{ m}$
- $z_{ml} = 9,2 - 0,076 = 9,124 \text{ m}$
- $d_{AP} = 9,2 + 0,76 = 9,96 \text{ m}$
- $Z = 0 \text{ m}$

$$P_{ST} = 10 \cdot [(1,50 - 0,0) + 9,96] = 114,60 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (9,124 - 0,0) = 91,24 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, se tomará la presión de $114,60 \text{ kN/m}^2$.

CHAPA DEL PANTOQUE.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_S = 51,280 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_S = 22,571 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_S = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 114,60 \text{ kN/m}^2$



5.5. CHAPA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.

5.5.1. Presión externa inducida por aguas tranquilas.

La presión inducida por aguas tranquilas en cubiertas expuestas ha sido calculada en el apartado 4.5.3 de este cuaderno. Se muestra recomienda un valor de presión según el tipo de acomodación. Para el caso de cubiertas con acomodación del tipo de comedores y otros locales amplios con mobiliario fijo se recomienda el siguiente valor:

$$P_{S,Deck} = 5 \text{ kN/m}^2$$

5.5.2. Presión externa inducida por olas.

No existe presión inducida por olas en la cubierta principal.

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

5.5.3. Presiones internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.

En el caso de la cubierta principal, en ésta se extienden las cuba de congelación con sus correspondientes tapas. Se considera que la situación más desfavorable se produce cuando el tanque de lastre está lleno.

La presión interna de los tanques debe ser la mayor de los valores obtenidos, en kN/m^2 de las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z)$$
$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot P_{PV}$$
$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right)$$

Donde,

- L_1 : es la eslora del mamparo, en m, que no debe ser superior a 200 m.
- ρ_L : es la densidad del líquido transportado en $\frac{t}{m^3}$
- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque en m.
- Z_L : es la coordenada Z del punto más alto del líquido en m.
$$Z_L = Z_{TOP} + 0,5 \cdot (Z_{AP} - Z_{TOP})$$
- Z_{AP} : es la coordenada Z de la parte superior del tubo de aireación, en m.
- P_{PV} : es la presión de ajuste de las válvulas de seguridad, en bar.



Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos:

- $L_1 = 3,2 \text{ m}$
- $\rho_L = 0,7 \text{ t/m}^3$
- $Z_{TOP} = 6,7 \text{ m}$
- $Z_L = 6,7 + 0,5 \cdot (9,2 - 6,7) = 7,95 \text{ m}$
- $Z_{AP} = 9,2 \text{ m}$
- $P_{PV} = 0,7 \text{ bar}$

Sustituyendo los valores, se tiene lo siguiente:

$$1^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot (7,95 - 1,50) = 44,29 \text{ kN/m}^2$$

$$2^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot (6,7 - 1,50) + 100 \cdot 0,7 = 105,70 \text{ kN/m}^2$$

$$3^{\circ}) P_S = 0,7 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 3,2}{420 - 3,2} \right) = 0,042 \text{ kN/m}^2$$

La mayor presión es de 105,70 kN/m²

5.5.4. Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.

Tal y como viene definido en el reglamento del Bureau Veritas Pt B, Ch 5, Sec. 6 INTERNAL PRESSURES AND FORCES (Tabla 1), en la condición de carga “a” no se deben tener en cuenta las presiones inerciales.

5.5.5. Presiones internas inducidas en tanques por test.

Será la mayor calculada a partir de las siguientes expresiones:

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

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

Donde,

- Z_{TOP} : es la coordenada Z del punto más alto del tanque, en m .
- z_{ml} : es la coordenada Z de la línea de margen, en m .
- La línea de margen es en buques de carga, una línea dibujada al menos 76 mm por debajo de la cubierta de francobordo.
- d_{AP} : es la distancia desde la parte superior del tubo de aireación hasta el techo del compartimento, en m .



Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos:

- $Z_{TOP} = 6,7 \text{ m}$
- $z_{ml} = 9,2 - 0,076 = 9,124 \text{ m}$
- $d_{AP} = 9,2 + 0,76 - 1,5 = 8,46 \text{ m}$
- $Z = 1,5 \text{ m}$

$$P_{ST} = 10 \cdot [(6,7 - 1,5) + 8,46] = 136,6 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{ST} = 10 \cdot (9,124 - 1,5) = 76,24 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, se tomará la presión de $136,6 \text{ kN/m}^2$.

CHAPA DE CUBIERTA PRINCIPAL.	
P. inducida por la carga en cubierta.	$P_{S Deck} = 5 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_S = 0 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_S = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_W = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_S = 105,7 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 136,6 \text{ kN/m}^2$



5.6. CUBIERTAS DE FRANCOBORDO Y PUENTE DE NAVEGACIÓN.

La cubierta de francobordo en la eslora de la sección maestra del buque soporta diversos espacios de acomodación (camarotes, pasillos y una sala de estar). El puente soporta la habilitación de mobiliario fijo. La sociedad de clasificación define en la Parte B, Ch 8, Sec 1 [4.6], la presión que debe tenerse en cuenta en estas cubiertas. Se muestra a continuación:

**Table 13 : Accommodation
 Still water and inertial pressures**

Still water pressure p_s , in kN/m^2	Inertial pressure p_w , in kN/m^2
The value of p_s is defined in Tab 14 depending on the type of the accommodation compartment	$p_s \frac{a_{z1}}{g}$

**Table 14 : Still water deck pressure
 in accommodation compartments**

Type of accommodation compartment	p_s , in kN/m^2
Large public spaces, such as: restaurants, halls, cinemas, lounges	5,0
Large rooms, such as: • rooms with fixed furniture • games and hobbies rooms, hospitals	3,0
Cabins	3,0
Other compartments	2,5

Según esta tabla, la presión que soportarán estas cubiertas es de 3 kN/m^2 .



5.7. CUBIERTA DEL CASTILLO.

Igual que la cubierta de francobordo, la cubierta del castillo soporta algunos espacios de acomodación, que en este caso son los camarotes de los tripulantes. La estimación de la presión que soporta esta cubierta podría realizarse de acuerdo con la tabla 14 de la Parte B, Ch 8, Sec 1 [4.6]. Sin embargo, la cubierta del castillo tiene zonas a la intemperie, sensibles en las zonas de proa a las presiones debidas a olas.

Es por este motivo que se determinará una presión para esta cubierta de acuerdo con los requerimientos de presiones del mar, en la Part. B, Ch 8, Secc. 1 [3.1].

En este apartado se determina el siguiente valor de presión:

$$P_S = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$P_W = 19,6 \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \sqrt{H} \quad \text{para } 0,75L \leq x \leq L$$

Donde,

- n : es el coeficiente de navegación, igual a 1.
- φ_1 : es el coeficiente para presiones en cubiertas expuestas.
- φ_2 : es un coeficiente calculado a partir de la siguiente expresión:

$$\varphi_2 = \frac{L}{120} = \frac{78,7}{120} = 0,655$$

H es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

$$H = \left[2,66 \cdot \left(\frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 + 0,14 \right] \cdot \sqrt{\frac{V \cdot L}{C_B}} - (z - T) > 0,8$$

$$H = \left[2,66 \cdot \left(\frac{58,700}{78,7} - 0,7 \right)^2 + 0,14 \right] \cdot \sqrt{\frac{15 \cdot 78,7}{0,583}} - (14,20 - 6,6) = -4,244$$

Se toma el valor de H mínimo, igual a 0,800.

El valor obtenido no deberá ser inferior a $10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$, que es igual a $6,55 \text{ kN/m}^2$.

Por tanto,

$$P_W = 19,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,655 \cdot \sqrt{0,8} = 11,48 \text{ kN/m}^2$$



6. CUADERNA MAESTRA. ESCANTILLONADO DE CHAPAS POR REQUERIMIENTOS LOCALES.

Tal y como viene recogido en el reglamento de Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 3 PLATING, Tabla 2, que se muestra a continuación, los espesores mínimos de las distintas chapas del buque se pueden calcular utilizando las expresiones propuestas:

Table 2 : Minimum net thickness of plating

Plating	Minimum net thickness, in mm
Keel	$4,3 + 0,029 L k^{1/2} + 4,5 s$
Bottom	
• longitudinal framing	$2,3 + 0,026 L k^{1/2} + 4,5 s$
• transverse framing	$3,3 + 0,026 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner bottom	
• outside the engine room (1)	$1,5 + 0,026 L k^{1/2} + 4,5 s$
• engine room	$3,0 + 0,026 L k^{1/2} + 4,5 s$
Side	
• below freeboard deck (1)	$3,1 + 0,017 L k^{1/2} + 4,5 s$
• between freeboard deck and strength deck	$3,0 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
Inner side	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Weather strength deck and trunk deck, if any (2)	
• area within 0,4L amidships	
- longitudinal framing	$2,1 + 0,032 L k^{1/2} + 4,5 s$
- transverse framing	$2,1 + 0,040 L k^{1/2} + 4,5 s$
• 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	$9,7 s k^{1/2}$
• wheeled load only	4,5
Accommodation deck	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
Platform in engine room	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Transverse watertight bulkhead (4)	$1,3 + 0,004 L k^{1/2} + 4,5 s$
Longitud. watertight bulkhead (4)	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$
Tank and wash bulkhead (4)	$1,7 + 0,013 L k^{1/2} + 4,5 s$

Se utilizarán las fórmulas anteriores para determinar el espesor mínimo de las chapas de la sección de estudio. Se apunta que en el caso de aquellos elementos que contribuyan a la



resistencia longitudinal, el valor de espesor mínimo anteriormente calculado deberá cumplir, además, con el requerimiento de espesor mínimo que define el Bureau Veritas en la Pt B, Ch 8, Sec. 3 PLATING [3.3]. Para dar un valor final al escantillonado de cada chapa, se elegirá el valor mayor de los calculados.



6.1. ESPESOR DEL FONDO.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa del fondo, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

En la quilla,

$$t = 4,3 + 0,029 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

En el fondo (con estructura longitudinal),

$$t = 2,3 + 0,026 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t : es el espesor de la chapa, en mm .
- L : es la eslora de escantillonado, en metros.
- K : es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s : es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

En la quilla,

$$t = 4,3 + 0,029 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 9,73 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

En el fondo (con estructura longitudinal),

$$t = 2,3 + 0,026 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 7,49 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.



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

- s : es la separación entre cuadernas.
- l : es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r : es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del fondo se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- 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_w es la presión en el fondo del buque por olas.

Las presiones obtenidas para la chapa de fondo se muestran en la siguiente tabla.

CHAPA DEL FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 66,36 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 22,57 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible.	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{sT} = 126,9 \text{ kN/m}^2$



$$P_s = 82,53 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_w = 22,57 \frac{kN}{m^2}$$

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

- σ_{x1} : es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 9,2}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 82,53 + 1,2 \cdot 22,57}{0,8084 \cdot 235}} = 9,57 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:



$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.

Por tanto,

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 126,9}{235}} = 7,94 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor del fondo.		
t (Tabla 2)	8	mm
t (Presiones)	10	mm
t (Test)	8	mm

El espesor de la chapa de quilla es de 10 mm. El resto del fondo del buque tendrá, según los cálculos anteriores, un espesor mínimo de 10 mm. Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

En la quilla,

$$t = 10 \text{ mm} + \text{Margen corrosión 1} + \text{Margen corrosión 2}$$

$$t = 10 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

En el resto del fondo,

$$t = 10 \text{ mm} + \text{Margen corrosión 1} + \text{Margen corrosión 2}$$

$$t = 10 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} = 11,5 \text{ mm} \approx 12 \text{ mm}$$



Por tanto, se define como espesor de la chapa del fondo el valor de 12 mm para la zona de la quilla y el resto del fondo.



6.2. ESPESOR DEL COSTADO.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa del costado, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

6.2.1. Escantillonado bajo de la cubierta de francobordo.

$$t = 3,1 + 0,017 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t : es el espesor de la chapa, en mm .
- L : es la eslora de escantillonado, en metros.
- K : es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s : es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 3,1 + 0,017 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 7,58 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

$$t = 17,2 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s : es la separación entre cuadernas.
- l : es la separación entre bulárcamas.



Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r : es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del costado se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- 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 costado.
- P_w es la presión en el fondo del buque por olas.

Las presiones obtenidas para la chapa de fondo se muestran en la siguiente tabla.

CHAPA DE COSTADO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 36,60 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 25,448 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 70 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{sT} = 76,4 \text{ kN/m}^2$
Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 105,7 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{sT} = 59,6 \text{ kN/m}^2$

$$P_s = 105,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



$$P_w = 25,448 \frac{kN}{m^2}$$

- $R_Y = 235 N/mm^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

- σ_{x1} : es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 N/mm^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 105,7 + 1,2 \cdot 25,448}{0,8084 \cdot 235}} = 8,302 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.



Por tanto,

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 76,4}{235}} = 6,16 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor del costado.		
t (Tabla 2)	8	mm
t (Presiones)	8	mm
t (Test)	7	mm

El espesor de la chapa de costado bajo la cubierta de francobordo es, en este punto, de 8mm. Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 8 \text{ mm} + \text{Margen corrosión 1} + \text{Margen corrosión 2}$$

$$t = 9 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} = 9,5 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la chapa del costado el valor de 10 mm.



6.2.2. Escantillado por encima de la cubierta de francobordo.

En esta zona del costado no se pueden calcular presiones inducidas por aguas tranquilas, olas o fluidos en tanques. El espesor del costado por encima de la cubierta de francobordo se determinará según la formulación de la tabla de espesores mínimos, en un primer lugar. Posteriormente se comprobará que este espesor es superior al mínimo requerido para planchas que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque.

Espesor mínimo.

$$t = 3 + 0,004 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t : es el espesor de la chapa, en mm .
- L : es la eslora de escantillado, en metros.
- K : es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s : es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 3 + 0,004 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 6,46 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

$$t = 17,2 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s : es la separación entre cuadernas.
- l : es la separación entre bulárcamas.



Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{S}{r}$$

Donde,

- r : es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del costado se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- 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 costado..
- P_w es la presión en el fondo del buque por olas.

Las presiones obtenidas para la chapa de fondo se muestran en la siguiente tabla.

CHAPA DE COSTADO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 36,60 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 25,448 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 70 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 76,4 \text{ kN/m}^2$
Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 105,7 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 59,6 \text{ kN/m}^2$

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

$$P_w = 25,448 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

- σ_{x1} : es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 0 + 1,2 \cdot 25,448}{0,8084 \cdot 235}} = 4,63 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.



Por tanto,

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{59,6}{235}} = 5,44 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor del doble fondo.		
t (Tabla 2)	7	mm
t (Presiones)	5	mm
t (Test)	6	mm

El espesor de la chapa de costado por encima de la cubierta de francobordo es, en este punto, de 7 mm. Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 7 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 7 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} = 7,5 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la chapa del fondo el valor de 8 mm.



6.3. ESPESOR DEL DOBLE FONDO.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa del doble fondo, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

En el doble fondo (para cubiertas de máquinas),

$$t = 3,0 + 0,026 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t : es el espesor de la chapa, en mm .
- L : es la eslora de escantillado, en metros.
- K : es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s : es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 3,0 + 0,026 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 9,19 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s : es la separación entre cuadernas.
- l : es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$



- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{S}{r}$$

Donde,

- r : es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del fondo se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- 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_w es la presión en el fondo del buque por olas.

Las presiones obtenidas para la chapa de fondo se muestran en la siguiente tabla.

CHAPA DEL DOBLE FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 51,68 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
<i>Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos</i>	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 85,08 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 89,8 \text{ kN/m}^2$

$$P_s = 51,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad P_w = 0,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$R_y = 235 \text{ N/mm}^2$$



- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

- σ_{x1} : es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 51,68 + 1,2 \cdot 0}{0,8084 \cdot 235}} = 5,55 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.



Por tanto,

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 89,8}{235}} = 6,59 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor del doble fondo.		
t (Tabla 2)	10	mm
T (Presiones)	6	mm
t (Test)	7	mm

El espesor de la chapa del doble fondo es de 9 mm. Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 10 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 10 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la chapa del fondo el valor de 11 mm.



6.4. ESPESOR DEL PANTOQUE.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa del doble costado, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

En el doble costado,

$$t = 0,7[\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot (\gamma_{S2} \cdot P_s + \gamma_{W2} \cdot P_w) \cdot s_b]^{0,4} \cdot R^{0,6} \cdot k^{\frac{1}{2}}$$

Donde,

- t : es el espesor de la chapa, en mm .
- $\gamma_R; \gamma_m; \gamma_{S2}; \gamma_{W2}$; son factores de seguridad.
- K : es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- P_s : es la presión inducida por aguas tranquilas.
- P_w : es la presión inducida por olas.

CHAPA DEL PANTOQUE.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 51,280 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 22,571 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 114,60 \text{ kN/m}^2$

R es el radio del pantoque, igual a 1,5 m.

s es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 0,7 \cdot [1,2 \cdot 1,02 \cdot (1 \cdot 82,53 + 1,2 \cdot 22,571) \cdot 2,100]^{0,4} \cdot 1,5^{0,6} \cdot 1^{0,5} =$$

$$= 8,52 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$



El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

$$t = 17,2 \cdot C_a \cdot C_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

s es la separación entre cuadernas.
 l es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que es igual a 1,5 m.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{1,5} = 0,767$$

- P_S es la presión en el pantoque inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del costado.
- P_W es la presión en el pantoque por olas.

$$P_S = 82,53 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_W = 22,571 \frac{kN}{m^2}$$



- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

- σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 17,2 \cdot 1,002 \cdot 0,767 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 82,53 + 1,2 \cdot 22,571}{0,8084 \cdot 235}} = 7,77 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:



$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.

Por tanto,

$$t = 17,2 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 114,6}{235}} = 8,71 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la chapa de pantoque.		
t (Tabla 2)	9	mm
t (Presiones)	8	mm
t (Test)	9	mm

El espesor de la chapa del pantoque es, en este punto, igual a 9 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 9 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 9 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la chapa del pantoque el valor de 11 mm.



6.5. ESPESOR DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa de una cubierta, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

$$t = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t es el espesor de la chapa, en mm .
- L es la eslora de escantillonado, en metros.
- K es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 1,3 + 0,004 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 4,76 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s es la separación entre cuadernas.
- l es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$



- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del casco se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el doble costado inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble costado
- P_w es la presión en el doble costado del buque por olas.

La presión obtenida para la chapa de cubierta es igual a 5 kN/m^2 .

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$



Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 5 + 1,2 \cdot 0,0}{0,8084 \cdot 235}} = 1,66 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la Cubierta Principal.		
t (Tabla 2)	5	mm
t (Presiones)	2	mm

El espesor de la chapa de la Cubierta Principal, en este punto, igual a 5 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 5 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 5 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la chapa la Cubierta Principal el valor de 5 mm.



6.6. ESPESOR DE LAS CUBIERTAS.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa de una cubierta, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

$$t = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t es el espesor de la chapa, en mm .
- L es la eslora de escantillonado, en metros.
- K es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 1,3 + 0,004 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 4,76 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s es la separación entre cuadernas.
- l es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,



$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{S}{r}$$

Donde,

r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del casco se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el doble costado inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble costado
- P_w es la presión en el doble costado del buque por olas.

La presión obtenida para la chapa de cubierta es igual a 3 kN/m².

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm², calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$



Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 3 + 1,2 \cdot 0,0}{0,8084 \cdot 235}} = 1,29 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la Cubiertas A y B.		
t (Tabla 2)	5	mm
t (Presiones)	2	mm

El espesor de la chapa de las Cubiertas, en este punto, igual a 5 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 5 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 5 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de las cubiertas el valor de 5 mm.



6.7. ESPESOR DE LA CUBIERTA DE CASTILLO.

Según se indica en el Bureau Veritas, Pt. B, Ch 8, Sec. 3 (PLATING), en la tabla 2, el espesor mínimo de la chapa de una cubierta a la intemperie, en milímetros, debe ser mayor que el siguiente:

$$t = 2,1 + 0,032 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

Donde,

- t es el espesor de la chapa, en mm .
- L es la eslora de escantillonado, en metros.
- K es el factor del material. Para un acero de tipo A, éste es igual a 1.
- s es el espaciado entre los refuerzos primarios, en m .

Por tanto,

$$t = 2,1 + 0,032 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,7 = 7,76 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El estudio de esta chapa también se hará desde el punto de vista de una estructura que contribuye a la resistencia longitudinal. Se tiene lo siguiente:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s es la separación entre cuadernas.
- l es la separación entre bulárcamas.



Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso del casco se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el doble costado inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble costado
- P_w es la presión en el doble costado del buque por olas.

La presión obtenida para la chapa de cubierta es igual a 5,088 kN/m² para el caso de presión inducida por aguas tranquilas, y es igual a 8,92 kN/m² para el caso de presión inducida por olas.

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$
- λ_L es un parámetro calculado a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,



σ_{x1} es la tensión normal primaria del buque viga, en N/mm^2 , calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{K} \cdot \left(1 - \frac{z}{0,5 \cdot D}\right), \text{ para } 0 \leq z \leq 0,5D$$

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{1} \cdot \left(1 - \frac{0}{0,5 \cdot 8,22}\right) = 100 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto,

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

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 5,088 + 1,2 \cdot 8,92}{0,8084 \cdot 235}} = 2,95 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la Cubierta Castillo		
t (Tabla 2)	8	mm
t (Presiones)	3	mm

El espesor de la chapa de la Cubierta A, en este punto, igual a 5 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 8 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 8 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} = 8,5 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$



Por tanto, se define como espesor de la chapa la Cubierta de Castillo el valor de 9 mm.

6.8. RESUMEN DE LOS ESPESORES DE LAS CHAPAS.

DENOMINACIÓN	ESPESOR (mm)	CALIDAD DE ACERO
Espesor del fondo	12	Acero tipo A
Espesor de la quilla	12	Acero tipo A
Espesor del costado	10	Acero tipo A
Espesor por encima de cubierta de francobordo	8	Acero tipo A
Espesor doble fondo	11	Acero tipo A
Espesor del pantoque	11	Acero tipo A
Espesor de la cubierta principal	5	Acero tipo A
Espesor de demás cubiertas	5	Acero tipo A
Espesor de cubierta castillo	9	Acero tipo A



7. CUADERNA MAESTRA. DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS PRIMARIOS.

A continuación se procede con el dimensionamiento de los refuerzos primarios del buque según la normativa del Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 5 PRIMARY SUPPORTING MEMBERS.

7.1. VARENGAS

El requisito de espesor mínimo general de un refuerzo primario se determina en la Part B, Ch 8, Secc 5, con la siguiente expresión:

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} \right) \cdot C_T$$

Donde,

- $t_{MÍN}$ es el espesor mínimo del refuerzo, en *mm*.
- L es la eslora de escantillonado.
- K es el factor del material.
- C_T es un coeficiente determinado por la siguiente expresión:

$$C_T = 1,0 \text{ para buques con } L > 40\text{m}$$

Por tanto,

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} \right) \cdot 1,0 = 4,85 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

La varenga como chapa.

La varenga se dimensiona de igual modo que una chapa comprendida entre el fondo y el doble fondo que no contribuye a la resistencia longitudinal. Por lo tanto, tal y como se indica en Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 3 PLATING [3.5], su espesor mínimo, en milímetros, se determina mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.



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

- s es la separación entre cuadernas.
- l es la separación entre bulárcamas.

Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso de una placa plana se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el doble costado inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble costado
- P_w es la presión en el doble costado del buque por olas.

La presión obtenida para las varengas será la mayor de entre las presiones calculadas para el fondo del buque. Se muestran en una tabla:

CHAPA DEL FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 66,36 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 22,57 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible.	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 126,9 \text{ kN/m}^2$



$$- R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 82,53 + 1,2 \cdot 22,57}{235}} = 6,97 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.

Por tanto,

$$t = 17,2 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 126,9}{235}} = 9,17 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la varenga.		
t (General).	5	mm
t (Presiones).	7	mm
t (Test).	10	mm

El espesor de la chapa de la varenga es en este punto igual a 10 mm. Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 10 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$



$$t = 10 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la varenga el valor de 12 mm.

7.2. BULÁRCAMAS.

El requisito de espesor mínimo general de un refuerzo primario se determina en la Part B, Ch 8, Secc 5, con la siguiente expresión:

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} \right) \cdot C_T$$

Donde,

- $t_{MÍN}$ es el espesor mínimo del refuerzo, en *mm*.
- L es la eslora de escantillonado.
- K es el factor del material.
- C_T es un coeficiente determinado por la siguiente expresión:

$$C_T = 1,0 \text{ para buques con } L > 40\text{m}$$

Por tanto,

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} \right) \cdot 1,0 = 4,88 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

La bulárcama como chapa.

La bulárcama se dimensiona de igual modo que una chapa comprendida entre el fondo y el doble fondo que no contribuye a la resistencia longitudinal. Por lo tanto, tal y como se indica en Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 3 PLATING [3.5], su espesor mínimo, en milímetros, se determina mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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



- s es la separación entre cuadernas.
- l es la separación entre bulárcamas.



Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso de una placa plana se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el doble costado inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del doble costado
- P_w es la presión en el doble costado del buque por olas.

La presión obtenida para las bulárcamas será la mayor de entre las presiones calculadas para el costado del buque. Se muestran en una tabla:

CHAPA DE COSTADO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 36,60 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 25,448 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 70 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 76,4 \text{ kN/m}^2$
Cubas de congelación y almacenamiento de tunidos	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 105,7 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 59,6 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test	$P_{ST} = 74,80 \text{ kN/m}^2$

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$



Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 105,7 + 1,2 \cdot 25,448}{235}} = 8,80 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.

Por tanto,

$$t = 17,2 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 59,6}{235}} = 6,28 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la bulárcama.		
t (General).	5	mm
t (Presiones).	9	mm
t (Test).	7	mm

El espesor de la chapa de la varenga es en este punto igual a 9 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 9 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 9 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la bulárcama el valor de 11 mm.



7.3. VAGRAS.

El requisito de espesor mínimo general de un refuerzo primario se determina en la Part B, Ch 8, Secc 5, con la siguiente expresión:

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot L \cdot K^{\frac{1}{2}} \right) \cdot C_T$$

Donde,

- $t_{MÍN}$ es el espesor mínimo del refuerzo, en *mm*.
- L es la eslora de escantillonado.
- K es el factor del material.
- C_T es un coeficiente determinado por la siguiente expresión:

$$C_T = 1,0 \text{ para buques con } L > 40\text{m}$$

Por tanto,

$$t_{MÍN} = \left(3,7 + 0,015 \cdot 78,7 \cdot 1^{\frac{1}{2}} \right) \cdot 1,0 = 4,88 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

La vagra como chapa.

La vagra se dimensiona de igual modo que una chapa comprendida entre el fondo y el doble fondo que contribuye a la resistencia longitudinal. Por lo tanto, tal y como se indica en Bureau Veritas Pt B, Ch 8, Sec. 3 PLATING [3.5], su espesor mínimo, en milímetros, se determina mediante la siguiente expresión:

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

Donde,

- C_a es el ratio de aspecto de una placa plana elemental.

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

- s es la separación entre cuernas.
- l es la separación entre bulárcamas.



Por tanto,

$$C_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,7}{2,1}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,7}{2,1} = 1,002$$

- C_r es el ratio de curvatura de una placa elemental.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde,

- r es el radio de curvatura de la placa, que en el caso de una placa plana se considera infinito.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,7}{\infty} = 1$$

- P_s es la presión en el fondo inducida por aguas tranquilas. Se considerará la mayor presión calculada anteriormente para la chapa del fondo.
- P_w es la presión en el fondo del buque por olas.

La presión obtenida para las vagras será la mayor de entre las presiones calculadas para el fondo del buque. Se muestran en una tabla:

CHAPA DEL FONDO.	
P. inducida por aguas tranquilas.	$P_s = 66,36 \text{ kN/m}^2$
P. inducida por olas.	$P_s = 22,57 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.	$P_w = 0 \text{ kN/m}^2$
Tanques de combustible.	
P. internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.	$P_s = 82,53 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 126,9 \text{ kN/m}^2$
P. internas inducidas en tanques por test.	$P_{ST} = 89,8 \text{ kN/m}^2$

- $R_Y = 235 \text{ N/mm}^2$



Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo del espesor mínimo en chapas que contribuyen a la resistencia longitudinal, se tiene lo siguiente:

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 82,53 + 1,2 \cdot 22,57}{235}} = 7,89 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Por último se calcula el espesor de la chapa en las condiciones de prueba (testing conditions). Dicho espesor no puede ser menor que el valor obtenido, en mm, de la fórmula siguiente:

$$t = 14,9 \cdot C_a \cdot C_r \cdot S \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_{ST}}{R_Y}}$$

Siendo P_{ST} la presión inducida en tanques en las condiciones de test.

Por tanto,

$$t = 14,9 \cdot 1,002 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 126,9}{235}} = 7,94 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El espesor final será el máximo de los obtenidos anteriormente. Para ello, se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla:

Espesor de la vagra.		
t (General).	5	mm
t (Presiones).	8	mm
t (Test).	8	mm

El espesor de la chapa de la vagra es en este punto igual a 8 mm Si se aplican los márgenes por corrosión para el caso de zonas en contacto con el mar y tanques de lastre, el espesor se incrementa según la siguiente expresión:

$$t = 8 \text{ mm} + \text{Margen corrosión}$$

$$t = 8 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

Por tanto, se define como espesor de la vagra el valor de 10 mm.



Resumen de refuerzos primarios.

Denominación.	Espesor [mm].	Calidad del acero.
Varenga	12	Acero tipo A.
Bulárcama.	10	Acero tipo A.
Vagra.	10	Acero tipo A.



7.4. REFUERZOS LONGITUDINALES Y VERTICALES

7.4.1. REFUERZOS VERTICALES EN VARENGAS

El módulo requerido para los refuerzos verticales de varengas viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{100 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ cm}^3$$

Siendo p la mayor de entre las cargas de p_9 a p_{11} :

- $P_9 = 10 \cdot T \text{ (kN / m}^2\text{)} = 10 \cdot 6,6 = 66 \text{ kN / m}^2$
- $P_{10} = 0,67 \cdot (10 \cdot h_p + \Delta p_{\text{dyn}}) \text{ (kN / m}^2\text{)} = 0,67 \cdot (10 \cdot 9,2 + 0) = 61,64 \text{ kN / m}^2$
- $P_{11} = 10 \cdot h_s + p_0 \text{ (kN / m}^2\text{)} = 10 \cdot 0,74 + 16,74 = 24,14 \text{ kN / m}^2$

Por tanto: $p = p_9 = 66 \text{ kN / m}^2$

Los valores de l , σ , s y w_k :

- $L = 1,5 \text{ m}$
- $\sigma = 160 \text{ N / mm}^2$
- $s = 0,7 \text{ m}$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{100 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ cm}^3 = \frac{100 \cdot 1,5^2 \cdot 0,7 \cdot 66 \cdot 1,05}{160} = 68,21 \text{ cm}^3$$

Para que los refuerzos no lleguen a los extremos de las varengas, el módulo debe ser incrementado en un 40 %, por lo tanto:

$$Z = 1,4 \cdot 68,21 = 95,5 \text{ cm}^3$$



y además la plancha asociada al refuerzo no debe ser menor a:

$$t = 1,25\sqrt{(1 - 0,5 \cdot s) \cdot s \cdot p} + t_k \text{ (mm)}$$

$$t = 1,25\sqrt{(1,5 - 0,5 \cdot 0,7) \cdot 0,7 \cdot 66} + 1 = 10,11 \text{ mm}$$

Como se ha tomado un espesor de varengas de 12 mm., se cumple este requerimiento.

El espesor del alma y ala del refuerzo no debe ser menor que el mayor de:

- $t = 5 + 0,02 \cdot L + t_k \text{ (mm)}$
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Siendo:

- h: altura del perfil en mm
- g: 70 para perfil con ala

$$t = 5 + 0,02 \cdot L + t_k \text{ (mm)} = 5 + 0,02 \cdot 78,7 + 1 = 8,87 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 3,86 \text{ mm}$$

El mayor de los valores es 8,87 mm. por lo que se toma este espesor como mínimo.

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para refuerzo de varengas, un perfil en L de alas desiguales de **150 x 150 x 18 mm.** que supera el módulo requerido.



7.4.2. REFUERZOS LONGITUDINALES DE COSTADO

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de costado viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ con un mínimo de } 15 \text{ cm}^3$$

Se distinguen tres zonas verticales:

- **Zona por debajo del eje neutro, próxima al doble fondo:**

Siendo p la mayor de entre las cargas de p_1 a p_7 , que en este caso se ha determinado anteriormente que es:

- $p_6 = \rho \cdot g_0 \cdot (h_s + 0,3b) \text{ (kN / m}^2\text{)}$
- $p_6 = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,6 + 0,3 \cdot 7,1) = 80,53 \text{ kN / m}^2$
- $p = p_6 = 80,53 \text{ kN/m}^2$

y los valores de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20 \text{ m.}$
- $s = 0,50 \text{ m.}$
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,5 \cdot 80,53 \cdot 1,05}{160} 386,87 \text{ cm}^3$$



Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 386,87 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 200$ mm.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 3,86 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de costado por debajo del eje neutro, un perfil en L de lados desiguales 200x150x15 mm. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado. Se ha seleccionado el perfil con alma de 200 mm. para facilitar la colocación de los aisladores que soportan la cuba.

- **Zona por encima del eje neutro, debajo de la cubierta principal:**

Siendo p la mayor de entre las cargas de p_1 a p_7 , que en este caso es p_6 pero con $h_s = 2,35\text{m}$

- $p_6 = \rho \cdot g_0 \cdot (h_s + 0,3b)$ (kN / m^2)
- $p_6 = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (2,35 + 0,3 \cdot 7,1) = 45,04 \text{ kN} / \text{m}^2$



$$- p = p_6 = 45,04 \text{ kN/m}^2$$

y los valores de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20 \text{ m}$.
- $s = 0,650 \text{ m}$.
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,65 \cdot 45,04 \cdot 1,05}{160} = 281,29 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 281,29 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k \text{ (mm)}$
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 200 \text{ mm}$.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 3,86 \text{ mm}$$



Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de costado por encima del eje neutro y debajo de la cubierta, un perfil en L de lados desiguales de **200x100x15** mm. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado. Se ha seleccionado el perfil manteniendo el alma de 200 mm. para facilitar la colocación de los aisladores que soportan la cuba.

- **Zona de entrepuente:**

Siendo p , la carga por encima de la línea de carga de verano:

$$p_2 = p_{dp} - (4 + 0,2 \cdot k_s) \cdot h_0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

no pudiendo ser menor que $p = 6,25 + 0,025 \cdot L = 6,25 + 0,025 \cdot 78,7 = 8,217$

$$p_2 = 18,896 - (4 + 0,2 \cdot 2) \cdot 0,7 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 15,816 \text{ kN/m}^2$$

y los valores de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20$ m.
- $s = 0,60$ m.
- $\sigma = 160$ N/mm²
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,6 \cdot 15,816 \cdot 1,05}{160} = 98,77 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 98,77 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$



Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 160$ mm.
- $g = 20$ (para perfil plano).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{160}{20} + 1 = 9 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de costado en la zona de entrepuente, un perfil de llanta bulbo de **160x9 mm.** que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado.



7.4.3. BULÁRCAMAS EN ENTREPUEENTE:

El módulo requerido viene dado por el mayor valor de las siguientes expresiones:

$$Z = 0,55 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z = k \cdot \sqrt{L} \text{ (cm}^3\text{)}$$

Siendo p la presión para este caso:

$$p_2 = p_{dp} - (4 + 0,2 \cdot k_s) \cdot h_0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

no pudiendo ser menor que $p = 6,25 + 0,025 \cdot L = 6,25 + 0,025 \cdot 78,7 = 8,217$

$$p_2 = 18,896 - (4 + 0,2 \cdot 2) \cdot 0,7 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 15,816 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de k , l , s y w_k :

y los valores de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20 \text{ m.}$
- $s = 0,650 \text{ m.}$
- $k = 4$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = 0,55 \cdot 4,2^2 \cdot 0,65 \cdot 15,816 \cdot 1,05 = 259,33 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$Z = 4 \cdot \sqrt{78,7} = 35,48 \text{ (cm}^3\text{)}$$



Se toma el mayor de los dos:
 $Z = 259,33 \text{ cm}^3$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 340$ mm.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{340}{70} + 1 = 5,85 \text{ mm}$$

Se selecciona para las bulárcamas de entrepunte, un perfil conjunto de chapa **340x8** mm. con ala de pletina **150x10 mm** aligerado, para que cumpla el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado teniendo en cuenta los aligeramientos. Serán dispuestas cada 6 claras (cada 4,20 m.).



7.4.4. REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA PRINCIPAL:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de cubierta principal viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ con un mínimo de } 15 \text{ cm}^3$$

Siendo p la mayor de entre las cargas que correspondan. La presión para este caso será la p para el cálculo de la chapa de cubierta principal:

$$p = 136,6 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20 \text{ m.}$
- $s = 0,70 \text{ m.}$
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,7 \cdot 136,6 \cdot 1,05}{160} = 918,74 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 918,74 \text{ cm}^3$$



El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 180$ mm.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{180}{70} + 1 = 3,57 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para todos los refuerzos longitudinales de cubierta principal, un perfil en L de lados iguales **180x180x18** mm. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta.



7.4.5. REFUERZOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA SUPERIOR:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de cubierta principal viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ con un mínimo de } 15 \text{ cm}^3$$

Siendo p la mayor de entre las cargas que correspondan. La presión para este caso será la p para el cálculo de la chapa de cubierta principal:

$$p = 11,48 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20 \text{ m}$.
- $s = 0,70 \text{ m}$.
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,7 \cdot 11,48 \cdot 1,05}{160} = 77,21 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 77,21 \text{ cm}^3$$



El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 160$ mm.
- $g = 20$ (para perfil plano).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{160}{20} + 1 = 9 \text{ mm}$$

Por lo tanto se toma como valor mínimo $t = 9$ mm.

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para todos los refuerzos longitudinales de cubierta superior, un perfil de llanta bulbo de **160x9 mm.**, que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta.

7.4.6. BAOS FUERTES DE CUBIERTA SUPERIOR:

El módulo requerido para los baos de cubierta superior viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = 0,63 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k \text{ (cm}^3\text{)} \text{ con un mínimo de } 15\text{cm}^3$$

Siendo p la presión para este caso la p para el cálculo de la chapa de cubierta superior:

$$p = 11,48 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l , s y w_k :

- $l = 5,80$ m, máxima luz que existe entre puntales.
- $s = 4,20$ m.



- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = 0,63 \cdot 5,8^2 \cdot 4,2 \cdot 11,48 \cdot 1,05 \text{ (cm}^3\text{)} = 682,73$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 682,73 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k \text{ (mm)}$

- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 120 \text{ mm}$.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{120}{70} + 1 = 2,71 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los baos fuertes de cubierta superior, un perfil compuesto por chapa de **260x8 mm**. con un ala de pletina soldada de **150x10 mm** aligerado, que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta, teniendo en cuenta los aligeramientos. Estarán dispuestas cada 6 claras (cada 4,20 m.).



7.4.7. PUNTALES

Se sitúan dos puntales, uno a babor y otro a estribor, a una distancia de 2,4m de crujía. En este caso, la carga P a soportar por cada uno de los puntales viene dada por:

$$P = 0,7 \cdot h \cdot \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot \frac{L_{p1} + L_{p2}}{2}$$

Siendo:

- L_1 y L_2 : Anchura no soportada de cubierta a una y otra banda de la situación del puntal:
 - $L_1 = 5,6$ m
 - $L_2 = 5,8$ m entre puntales a cada banda de crujía
- Luces de la cuerda que se apoya en el puntal a uno y otro lado del mismo. Colocando puntales cada 3 claras, se toma .
 - $L_{p1} = L_{p2} = 4,2$ m

Entonces tenemos:

$$P = 0,7 \cdot 2,4 \cdot \frac{5,6 + 5,8}{2} \cdot \frac{4,2 + 4,2}{2} = 30,2 \text{ ton}$$

La carga máxima admisible por un puntal viene dada por:



$$P_A = \frac{1,2 \cdot S}{1 + 0,75 \cdot \left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Siendo:

- L: Luz del puntal: 2,4 m.
- S: Sección transversal del puntal en cm^2 .
- I: Momento de inercia mínimo, en cm^4 .
- $r = \sqrt{\frac{I}{S}}$ Radio de giro en cm.

Se prueba con distintos puntales tubulares, decantándose por un eurotubo de diámetro exterior 140mm y pared de 8mm, de características:

- $S = 33 \text{ cm}^2$
- $I = 7,4 \text{ cm}^4$
- $r = \sqrt{\frac{I}{S}} = \sqrt{\frac{7,4}{33}} = 4,66 \text{ cm}$

Este puntal es capaz de soportar:

$$P_A = \frac{1,2 \cdot 33,1}{1 + 0,75 \cdot \left(\frac{2,4}{4,66}\right)^2} = 33,3 \text{ ton}$$

Al tratarse de un puntal tubular de espesor 8mm > 6,5mm se debe comprobar la relación:

$$\frac{D_{EXT}}{t} = \frac{140}{8} = 17,5 \leq 50$$

Los puntales se sitúan cada 6 claras de cuadernas, a 4,2m de crujía. De este modo, se hace coincidir verticalmente con los refuerzos de los mamparos transversales de cubas y éstos descansan sobre refuerzos de varengas del doble fondo.



7.4.8. REFUERZOS LONGITUDINALES DE MAMPAROS LONGITUDINALES:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ con un mínimo de } 15 \text{ cm}^3$$

Se distinguen dos zonas verticales:

- **Zona próxima al doble fondo y por debajo del eje neutro:**
Siendo p misma que para el mamparo longitudinal:

$$p = 105,7 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l, σ , s y w_k :

- l = 4,20 m.
- s = 0,50 m.
- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:



$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,5 \cdot 105,7 \cdot 1,05}{160} = 507,79 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 507,79 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 200$ mm.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 3,86 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales de costado por debajo del eje neutro, un perfil en L de lados desiguales **200x150x15 mm**. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de mamparo longitudinal.

- **Zona próxima a la cubierta y por encima del eje neutro:**

Siendo p misma que en el caso anterior pero se vuelve a calcular con $h_s = 3$ m.

$$p = \rho \cdot g_0 \cdot (h_s + 0,3 \cdot b) \text{ kN/m}^2$$

$$p = 1,26 \cdot 9,81 \cdot (3 + 0,3 \cdot 7,1) = 63,40 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l , σ , s y w_k :

- $l = 4,20$ m.
- $s = 0,650$ m.



- $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$
- $w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83 \cdot 4,2^2 \cdot 0,65 \cdot 63,4 \cdot 1,05}{160} = 395,95 \text{ cm}^3$$

Como supera los 15 cm^3 , mínimo valor por reglamento, se toma:

$$Z = 395,95 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k \text{ (mm)}$
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 200 \text{ mm}$.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 3,86 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales de costado por encima del eje neutro, un perfil en L de lados desiguales **200x100x15 mm**. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de mamparo longitudinal.



7.4.9. REFUERZOS VERTICALES DE MAMPAROS TRANSVERSALES:

El módulo requerido para los refuerzos verticales de los mamparos transversales viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{6,25 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{m} \text{ cm}^3$$

Siendo p la misma que la adoptada para el cálculo en el mamparo transversal con $h_s=3$ m.:

$$p = \rho \cdot g_0 \cdot (h_s + 0,3 \cdot b) \text{ kN/m}^2$$

$$p = 1,26 \cdot 9,81 \cdot (3 + 0,3 \cdot 7,1) = 63,40 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de l , σ , s y w_k :

- $l = 6,35$ m.
- $s = 0,70$ m.
- $m = 7,5$
- $w_k = 1,05$



Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{6,25 \cdot 6,35^2 \cdot 0,7 \cdot 63,4 \cdot 1,05}{7,5} = 1565,82 \text{ cm}^3$$

$$Z = 1565,82 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

- $t = 5 + k \cdot L + t_k$ (mm)
- $t = \frac{h}{g} + t_k$

Donde:

- $k = 0,01$ en general.
- $h =$ altura del perfil en mm. $h = 250$ mm.
- $g = 70$ (para perfil con ala).

$$t = 5 + 0,01 \cdot 78,7 + 1 = 6,78 \text{ mm}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k = \frac{200}{70} + 1 = 4,57 \text{ mm}$$

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos verticales de mamparos transversales, un perfil compuesto por chapa de **250x15 mm**. con un ala de pletina soldada de **150x15 mm**. que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de mamparo transversal.



8. CALCULO MÓDULO RESISTENTE CUADERNA MAESTRA

En este punto se va a realizar el cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra del buque.

En el Anexo se muestra el plano de aceros tipo de la cuaderna maestra.

Para el cálculo del módulo resistente, se van a seguir las siguientes premisas:

- Se van a considerar aquellos elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque y son continuos en $0,4L$ en el centro del buque. El reglamento indica que se deben incluir aquellos elementos que se encuentren por debajo de la cubierta resistente por lo que en este caso se ha limitado la cuaderna maestra hasta la cubierta superior. Se considera por tanto las chapas del forro, la quilla de cajón, la cubierta principal y superior, la plancha del doble fondo, y los refuerzos longitudinales (vagrás, esloras, longitudinales en general). Por tanto, no se tienen en cuenta las cuadernas y los baos. Tampoco se tendrá en cuenta el forro interior en chapa de INOX de las cubas, ya que estas no son elementos longitudinales continuos, ni tampoco tienen fin estructural. En el caso de la sobrequilla, al estar situada sobre la línea de simetría (crujía), se considera



también en dos partes, por lo que se debe dividir por la mitad su espesor total de 12 mm.

- Se ha de considerar que la superestructura va a contribuir a la resistencia longitudinal del buque de forma positiva, actuando como una reserva a mayores de resistencia del buque.
- Como la estructura es simétrica respecto de crujía, se toman en consideración únicamente los elementos en un solo costado, y se multiplican por dos los resultados obtenidos.

8.1. PROCESO DE CÁLCULO

El proceso que se ha seguido para calcular dicho módulo es el siguiente:

- Primeramente, se ha de hacer, una representación en la que se indiquen todos los elementos que se van a considerar en los cálculos de resistencia longitudinal.
- Se hace una tabla:
 - En la primera columna se colocan los elementos longitudinales resistentes. o Columna de número de elementos.
 - En la segunda y tercera columna se definen las dimensiones o escantillones de cada elemento, según el sentido vertical (h) y horizontal (b).
 - En la cuarta columna se pondrá el área de la sección transversal de cada elemento. Para el caso de los perfiles en L o llantas con bulbo que se han empleado en el buque de proyecto, los valores necesarios se han obtenido de prontuarios de estructuras metálicas.



- En la quinta columna, se indican las distancias del centro de gravedad de cada elemento a la línea de base.
- En la sexta columna se indica el momento estático M (momento de primer orden) respecto a la línea de base, que es el producto de la cuarta y quinta columna:

$$M = A \cdot Y_G (\text{cm}^2 \cdot \text{m})$$

- En la séptima columna, se multiplica el momento estático M, por la distancia Y_g . De esta forma se obtiene el momento de inercia de cada elemento respecto a la línea de base (momento de segundo orden):

$$I = M \cdot Y_G = A \cdot Y_G^2 (\text{cm}^2 \cdot \text{m}^2)$$

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

$$I_0 = (A \cdot h^2) / 12 (\text{cm}^2 \cdot \text{m}^2)$$

- Se calcula el centro de gravedad de la sección o altura del eje neutro. Estará situado a una distancia de la línea de base igual a:

$$y_{EN} = \frac{\sum (A_i \cdot Y_{Gi})}{\sum A_i}$$

- Se calcula el momento de inercia total respecto al eje X o línea de base:

$$I_{OX} = \sum I_0 + \sum (A_i \cdot Y_{Gi}^2)$$

- Con I_{OX} , se calcula el momento de inercia respecto al eje neutro I_{EN} , que se obtiene mediante el teorema de Steiner:

$$I_{EN} = I_0 - Y_{Gi}^2 \cdot \sum A_i$$



- Se calculan las distancias del fondo y la cubierta resistente (cubierta superior) al eje neutro: Y_{FONDO} , Y_{CUBIERTA} .
- Con estas distancias, se puede calcular el módulo resistente del fondo W_{FONDO} y el módulo resistente de la cubierta W_{CUBIERTA} :

$$W_{\text{FONDO}} = \frac{I_{\text{EN}}}{Y_{\text{FONDO}}}$$

$$W_{\text{CUBIERTA}} = \frac{I_{\text{EN}}}{Y_{\text{EN}} - Y_{\text{CUBIERTA}}}$$

- A continuación se comprueba el cumplimiento de los valores obtenidos del módulo resistente y del momento de inercia de la sección, que deben ser mayores al valor del módulo resistente mínimo admisible, así como el valor del momento de inercia mínimo de la sección, calculados según el reglamento de DNV, en el punto 6 de este cuaderno.

8.2. CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE.



Elemento	Escantillón mm	Cantidad	Área cm ²	Yg mm	Área*Yg cm ³	Área*Yg ² cm ⁴	h equiv mm	lo cm ⁴	Ixx=lo*A*Yg ²
Vagra central	1500 X 10	1	150	5	75	37,5	1500	281250,0	281287,5
Vagra lateral 1	1500 X 10	1	150	800	12000	960000	1500	281250,0	1241250
Vagra lateral 2	1500 X 10	1	150	2900	43500	12615000	1500	281250,0	12896250
Chapa de fondo	4170 X 12	1	659,1	2,1	138,411	29,06631	12	79,1	108,15831
Chapa de fondo del quillote	500 X 12	1	600	-500	-30000	1500000	13	84,5	1500084,5
Chapa lateral del quillote	500 X 12	1	600	-250	-15000	375000	500	125000,0	500000
Forro de costado	9400*10	1	940	6700	629800	421966000	9400	69215333,3	491181333,3
Cubierta principal	7100 X 9	1	639	7504	479505,6	359821002,2	9	43,1	359821045,4
Cubierta superior	7100 X 9	1	639	10004	639255,6	639511302,2	8	34,1	639511336,3
Cubierta Castillo	7100 X 9	1	639	12404	792615,6	983160390,2	9	43,1	983160433,4
Mamparo long. central túnel	3450 X 10	1	345	5700	196650	112090500	3450	3421968,8	115512468,8
Mamparo long. lateral túnel	1600 X 10	1	160	2250	36000	8100000	1600	341333,3	8441333,333
Mamparo long. inclinado túnel	500 X 10	1	50	2950	14750	4351250	350	5104,2	4356354,167
Refuerzos de costado 1	200 X 100 X 15	1	45	1699	7645,5	1298970,45	100	1870,0	1300840,45
Refuerzos de costado 2	200 X 100 X 15	1	45	2199	9895,5	2176020,45	100	1870,0	2177890,45
Refuerzos de costado 3	200 X 100 X 15	1	45	2699	12145,5	3278070,45	100	1870,0	3279940,45
Refuerzos de costado 4	200 X 100 X 15	1	45	3199	14395,5	4605120,45	100	1870,0	4606990,45
Refuerzos de costado 5	200 X 150 X 15	1	52,5	3798	19939,5	7573022,1	150	2040,0	7575062,1
Refuerzos de costado 6	200 X 150 X 15	1	52,5	4398	23089,5	10154762,1	150	2040,0	10156802,1
Refuerzos de costado 7	200 X 150 X 15	1	52,5	4998	26239,5	13114502,1	150	2040,0	13116542,1
Refuerzos de costado 8	200 X 150 X 15	1	52,5	5598	29389,5	16452242,1	150	2040,0	16454282,1
Refuerzos de costado 9	200 X 150 X 15	1	52,5	6198	32539,5	20167982,1	150	2040,0	20170022,1
Refuerzos de costado 10	200 X 150 X 15	1	52,5	6798	35689,5	24261722,1	150	2040,0	24263762,1
Longitudinales de cubierta principal 1	180 X 180 X18	1	64,8	6913	44796,24	30967640,71	120	4382,0	30972022,71
Longitudinales de cubierta principal 2	180 X 180 X18	1	64,8	800	5184	414720	180	4382,0	419102
Longitudinales de cubierta principal 3	180 X 180 X18	1	64,8	1500	9720	1458000	180	4382,0	1462382
Longitudinales de cubierta principal 4	180 X 180 X18	1	64,8	2700	17496	4723920	180	4382,0	4728302
Longitudinales de cubierta principal 5	180 X 180 X18	1	64,8	3400	22032	7490880	180	4382,0	7495262
Longitudinales de cubierta principal 6	180 X 180 X18	1	64,8	4100	26568	10892880	180	4382,0	10897262
Longitudinales de cubierta principal 7	180 X 180 X18	1	64,8	4800	31104	14929920	180	4382,0	14934302
Longitudinales de cubierta principal 8	180 X 180 X18	1	64,8	5500	35640	19602000	180	4382,0	19606382
Longitudinales de cubierta principal 9	180 X 180 X18	1	64,8	6200	40176	24909120	180	4382,0	24913502
Longitudinales de costado 1	HP 160x9	1	23,6	7615	17971,4	13685221,1	9	941,0	13686162,1
Longitudinales de costado 2	HP 160x9	1	23,6	8240	19446,4	16023833,6	9	941,0	16024774,6
Longitudinales de costado 3	HP 160x9	1	23,6	8865	20921,4	18546821,1	9	941,0	18547762,1
Longitudinales de cubierta superior	HP 160x9	9	13,8	9418	12996,84	12240423,91	160	3192,0	12243615,91
Ref. mamparo long. central túnel 1	200 X 100 X 15	1	45	4800	21600	10368000	200	1500,0	10369500
Ref. mamparo long. central túnel 2	200 X 100 X 15	1	45	4150	18675	7750125	200	1500,0	7751625
Ref. mamparo long. central túnel 3	200 X 100 X 15	1	45	3500	15750	5512500	200	1500,0	5514000
Ref. mamparo long. central túnel 4	200 X 100 X 15	1	45	2850	12825	3655125	200	1500,0	3656625
Ref. mamparo long. lateral túnel 1	200 X 150 X 15	1	52,5	1300	6825	887250	200	1750,0	889000
Ref. mamparo long. lateral túnel 2	200 X 150 X 15	1	52,5	800	4200	336000	200	1750,0	337750
Ref. mamparo long. lateral túnel 3	200 X 150 X 15	1	52,5	300	1575	47250	200	1750,0	49000
Ref. mamparo long. inclinado túnel 1	200 X 150 X 15	1	52,5	1750	9187,5	1607812,5	117	598,9	1608411,394
Ref. mamparo long. inclinado túnel 2	200 X 150 X 15	1	52,5	2000	10500	2100000	150	984,4	2100984,375
SUMATORIOS			7273,9		3415448,991				2929713148

De la tabla anterior, y para la sección completa del buque:

- $\Sigma A = 14.098,200 \text{ cm}^2$



- $\Sigma(A \times Y_g) = 64.106,254 \text{ cm}^2 \times \text{m}$
- $\Sigma(A \times Y_g^2) = 479.646,575 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2$
- $\Sigma I_0 = \text{suma de las inercias de los elementos} = 3.327,112 \text{ cm}^2 \times \text{m}^2 = 0,3327 \text{ m}^4$

La posición vertical del eje neutro es:

$$y_{EN} = \frac{\Sigma(A_i \cdot Y_{Gi})}{\Sigma A_i} = 4,695 \text{ m}$$

El momento de inercia en la cuaderna maestra se calcula aplicando el teorema de Steiner, por tanto:

$$I_{EN} = \Sigma(A \cdot Y_G^2) + \Sigma I_0 - Y_{EN}^2 \cdot \Sigma A$$
$$I_{EN} = 2651988248,8 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 = 26,519 \text{ m}^4$$

Módulo de la cubierta:

$$W_{CUBIERTA} = \frac{I_{EN}}{Y_{EN} - Y_{CUBIERTA}} = 5,519 \text{ m}^3$$

Módulo del fondo:

$$W_{FONDO} = \frac{I_{EN}}{Y_{FONDO}} = 5,647 \text{ m}^3$$

A continuación se comparan los valores mínimos dados por la Sociedad de Clasificación y los calculados.

8.3. COMPROBACION DE LOS DATOS OBTENIDOS



Una vez obtenidos los resultados, se ha de comprobar si se cumplen los requisitos mínimos exigidos por la Sociedad de Clasificación.

En este cuaderno se ha obtenido un módulo resistente mínimo de la sección maestra respecto a la línea neutra, según reglamento:

$$Z_{\text{MIN}} = 0,796 \text{ m}^3$$

Los valores obtenidos del módulo resistente, tanto para el fondo como para la cubierta después del escantillonado son:

$$Z_{\text{FONDO}} = W_{\text{FONDO}} = 5,647 \text{ m}^3$$
$$Z_{\text{CUBIERTA}} = W_{\text{CUBIERTA}} = 5,519 \text{ m}^3$$

La reglamentación también exige que la sección maestra tenga un momento de inercia mínimo respecto al eje neutro real, cuyo valor también fue calculado en este cuaderno, siendo:

$$I_{\text{MIN}} = 1,879 \text{ m}^4$$

El valor del momento de inercia respecto al eje neutro del buque obtenido para el buque proyecto es:

$$I_{\text{EN}} = 26,519 \text{ m}^4$$

Se comparan los valores mínimos dados por la Sociedad de Clasificación y los calculados:

CONCEPTO	VALOR MINIMO	VALOR CALCULADO
Momento mínimo de inercia	1,879 m ⁴	26,519 m ⁴
Módulo cubierta	0,796 m ³	5,519 m ³
Módulo fondo	0,796 m ³	5,647 m ³

Se verifica que se cumplen los requisitos de la Sociedad de Clasificación.



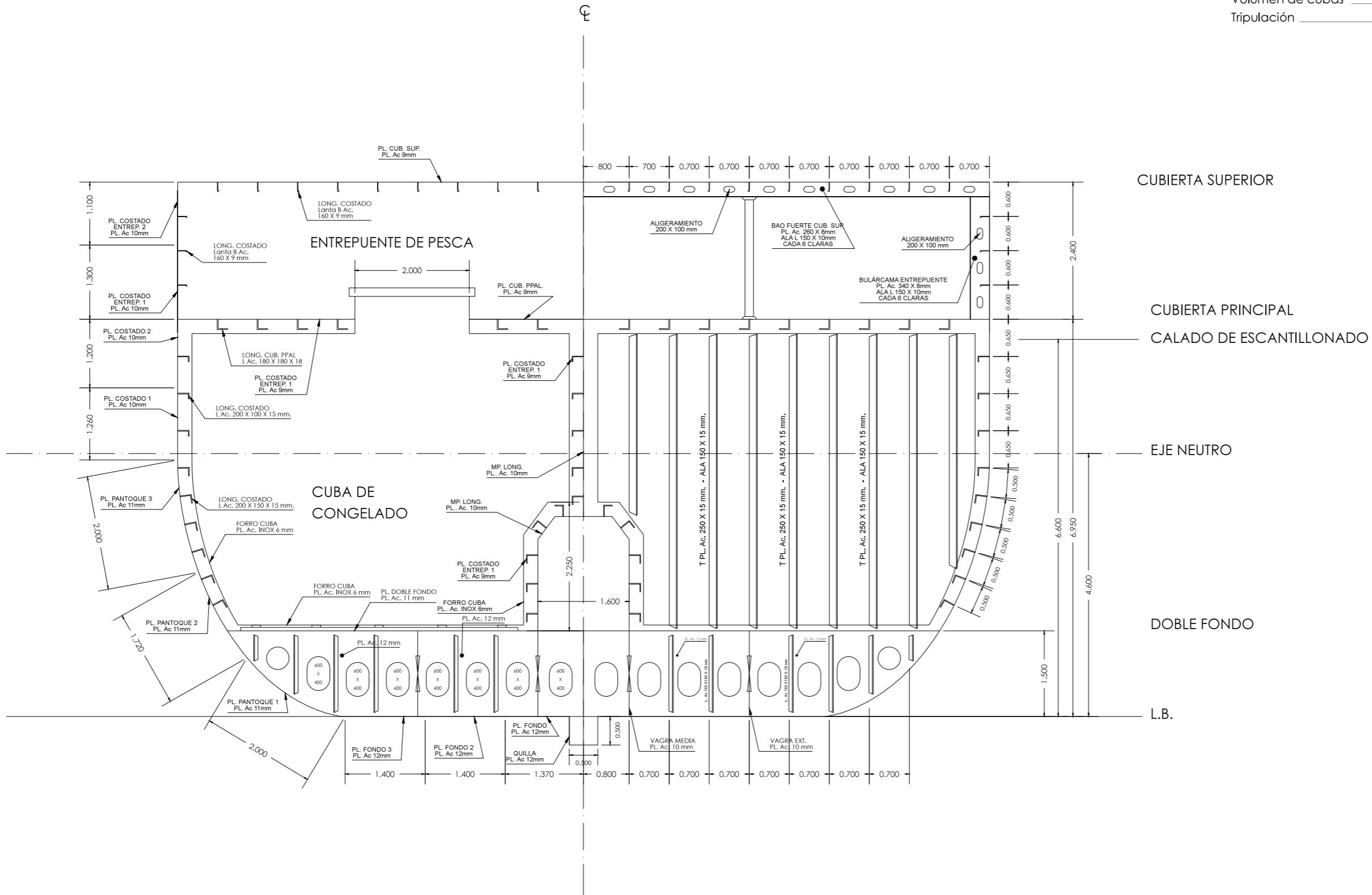
ANEXO I

CUADERNA MAESTRA

PROYECTO 15-1
ATUNERO CONGELADOR

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Eslora total	90 mts
Eslora entre perpendiculares	75 mts
Manga de trazado	14.20 mts
Puntal a la cub. principal	6.95 mts
Puntal a la cub. superior	9.20 mts
Calado medio de trazado	6.60 mts
Volumen de cubas	2000 m3
Tripulación	32 personas



GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL		Escuela Universitaria Politécnica Ferrol UNIVERSIDADE DA CORUÑA	
Alumno: Jon Iturbe Ereño		09 Septiembre 2016	
ATUNERO CONGELADOR 75m E.P.P.			
Proyecto fin de grado N°15-01			E:1/75
Sociedad clasificadora: Bureau Veritas			
CUADERNA MAESTRA	cuaderno maestra	01	