



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2.017/18

BUQUE ATUNERO CONGELADOR DE 3.700 m³

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA:

Eva Luz Villar Chouciño

TUTOR:

Marcos Míguez González

FECHA:

JUNIO 2.018

1. RPA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO NÚMERO: 18-05

TIPO DE BUQUE: Buque atunero congelador de 3.700 m³ con bandera española destinado a la pesca de cerco en el Océano Pacífico Oriental.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: El buque ha de cumplir las reglas establecidas por la Sociedad de Clasificación BUREAU VERITAS para alcanzar la cota:

***I ✘ HULL ✘ MACH, Fishing vessel, Unrestricted navigation,
REF-CARGO-QUICKFREEZE, INWATERSURVEY***

Además, el buque deberá ajustarse a los siguientes reglamentos:

Protocolo de Torremolinos 1.993 con sus enmiendas en vigor.

Reglamentos de los Canales de Suez y Panamá.

Reglamento MARPOL 73/78.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Atún que se distribuirá y congelará en cubas por el sistema de inmersión en salmuera.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: El buque alcanzará una velocidad en pruebas de 19 nudos con el motor desarrollando su potencia máxima continua (100% MCR) y cuya autonomía será de 60-70 días operacionales.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los equipos de carga y descarga serán la pluma de panga y plumas auxiliares (Br y Er) para carga y descarga de la pesca y en general los habituales para este tipo de buque.

PROPULSIÓN: Motor propulsor diésel 4 tiempos no reversible.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: El buque estará operado por 30 tripulantes con camarotes y aseos individuales.

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

Ferrol, 18 Septiembre 2.017

ALUMNO/A: **D^a EVA LUZ VILLAR CHOUCIÑO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2.017/18**

BUQUE ATUNERO CONGELADOR DE 3.700 m³

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 8

“CUADERNA MAESTRA”

ÍNDICE

1. RPA.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	10
3.1. ZONA DE DOBLE FONDO	12
3.2. ZONA DE CUBAS.....	12
3.3. ZONA DE ENTRECUBIERTAS.....	12
3.4. ZONA DE CÁMARA DE MÁQUINAS	12
3.5. ZONA DE PIQUE DE PROA	13
3.6. ZONA DE PIQUE DE POPA	13
4. PARÁMETROS DE DISEÑO	14
4.1. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO	14
4.1.1. <i>Calado de Escantillonado.....</i>	<i>14</i>
4.1.2. <i>Eslora de Escantillonado.....</i>	<i>15</i>
4.1.3. <i>Manga de Escantillonado.....</i>	<i>15</i>
4.1.4. <i>Puntal de Escantillonado.....</i>	<i>15</i>
4.1.5. <i>Coeficiente de Bloque</i>	<i>15</i>
4.1.6. <i>Clara Reglamentaria entre Cuadernas.....</i>	<i>16</i>
4.1.7. <i>Dimensiones Finales de Escantillonado.....</i>	<i>16</i>
4.2. SEPARACIÓN DE REFUERZOS	16
4.3. MATERIALES	18
4.4. ESPESOR DE CORROSIÓN.....	19
5. PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL BUQUE.....	20
5.1. COEFICIENTE DE NAVEGACIÓN.....	20
5.2. NÚMERO DE FROUDE	21
5.3. PARÁMETRO DE OLA	21
5.4. PARÁMETRO DE OLA EN m.....	21
5.5. PARÁMETRO DE ACELERACIÓN Y MOVIMIENTO	21
5.6. VALOR DE REFERENCIA DEL MOVIMIENTO RELATIVO DEL BUQUE (h_1)	22
5.7. VALORES MÁXIMOS DE REFERENCIA DE LAS ACELERACIONES	23
5.8. PARÁMETROS DE CABECEO.....	24
5.9. RESULTADOS.....	25
6. MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA	26
7. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO: CARGAS DE DISEÑO	29
7.1. PRESIONES INDUCIDAS POR AGUAS TRANQUILAS (p_s)	30

7.1.1.	<i>Presión Externa en el Costado y Fondo del Buque</i>	30
7.1.2.	<i>Presión en Cubiertas de Acomodación</i>	31
7.1.3.	<i>Presión Interna de Tanques de Doble Fondo</i>	31
7.2.	PRESIONES INDUCIDAS POR OLAS (p_w)	32
7.2.1.	<i>Presión Externa en el Costado y Fondo del Buque</i>	32
7.2.2.	<i>Presión Inercial en Cubiertas de Acomodación</i>	33
7.2.3.	<i>Presión Interna de Tanques de Doble Fondo</i>	34
8.	CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA CUADERNA MAESTRA	35
8.1.	CHAPA DEL FONDO	42
8.1.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	42
8.1.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	44
8.2.	CHAPA DEL PANTOQUE	46
8.2.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	46
8.2.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	48
8.3.	CHAPA DEL COSTADO	49
8.3.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	49
8.3.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	51
8.4.	CHAPA DEL DOBLE FONDO	53
8.4.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	53
8.4.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	55
8.5.	CHAPA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL	57
8.5.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	57
8.5.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	59
8.6.	CHAPA DEL MAMPARO ESTANCO	61
8.6.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	61
8.6.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	62
9.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS SECUNDARIOS	64
9.1.	VARENGAS DEL DOBLE FONDO	65
9.1.1.	<i>Cálculo de Presiones</i>	65
9.1.2.	<i>Escantillonado de Chapa</i>	66
9.2.	LONGITUDINALES DEL COSTADO	67
9.2.1.	<i>Cálculo del Módulo Resistente</i>	67
9.2.2.	<i>Cálculo del Área de la Sección</i>	68
9.2.3.	<i>Selección del Refuerzo (Escantillonado)</i>	68
9.3.	ESLORAS DE LA CUBIERTA PRINCIPAL	69
9.3.1.	<i>Cálculo del Módulo Resistente</i>	69
9.3.2.	<i>Cálculo del Área de la Sección</i>	69

9.3.3. Selección del Refuerzo (<i>Escantillonado</i>)	70
10. RESULTADOS OBTENIDOS	71
11. COMPROBACIÓN DEL MÓDULO RESISTENTE	72
ANEXO I_Cuaderna Maestra	77
ANEXO II_Comprobación del Módulo	78

2. INTRODUCCIÓN

El Buque correspondiente al proyecto número 18-05 es un pesquero Purse Seiner con capacidad de cubas de 3.700 m³, a motor, con casco de acero, proyectado para la pesca del atún con arte de cerco en el Océano Pacífico Oriental.

El buque con todo su equipo y maquinaria, se construirá de acuerdo con las reglas, y bajo la inspección de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, para alcanzar la cota:

***I ✘ HULL ✘ MACH, Fishing vessel, Unrestricted navigation,
REF-CARGO-QUICKFREEZE, INWATERSURVEY***

Donde:

- REF-CARGO-QUICKFREEZE: notación de clase adicional asignada a buques diseñados con plantas de congelación, con la condición de que el número y la energía de las unidades de refrigeración son tales que la temperatura específica puede ser mantenida con una unidad en stand-by.
- INWATERSURVEY: notación de clase adicional asignada a buques con los arreglos necesarios para facilitar la inspección bajo agua.

Las dimensiones principales de dicho Buque Proyecto calculadas en el Cuaderno 1, “*Dimensionamiento Preliminar y Elección de la Cifra de Mérito*” y los coeficientes ajustados en el Cuaderno 3 “*Coeficientes y Plano de Formas*”, son los que se muestran a continuación:

ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.....	96,70 m
ESLORA TOTAL.....	112,40 m
MANGA.....	18,00 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL.....	8,20 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SUPERIOR.....	11,00 m
CALADO.....	7,50 m
Velocidad (100% MCR).....	19 nudos
Número de Froude.....	0,318
COEFICIENTE DE BLOQUE.....	0,592
COEFICIENTE DE LA MAESTRA.....	0,937
COEFICIENTE PRISMÁTICO.....	0,631
COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN.....	0,841
DESPLAZAMIENTO.....	7.917 Tn
VOLUMEN DE CUBAS.....	3.700 m ³
TRIPULACIÓN.....	30
POTENCIA	7.200 kW

En el presente Cuaderno 8 “*Cuaderna Maestra*” se procederá al desarrollo de los siguientes puntos:

- Descripción de la estructura del buque.
- Cargas de diseño.
- Cálculo del escantillado de la estructura del buque.
- Cálculo del módulo resistente y comprobación de requerimientos mínimos establecidos por la Sociedad de Clasificación.

El reglamento que se aplica es el del Bureau Veritas, que contiene en su parte *Pt. B “Casco y Estabilidad”* los requisitos para la determinación del escantillado mínimo del casco y cuyos capítulos empleados son los siguientes:

- *Ch. 1, Sec. 2 “Symbols and Definitions”.*
- *Ch. 4, Sec.1 “Materials”.*
- *Ch. 4, Sec. 2 “Net Scantling Approach”.*
- *Ch. 4, Sec 4 “Bottom Structure”.*
- *Ch. 5, Sec. 1 “General”.*
- *Ch. 5, Sec. 2 “Hull Girder Loads”.*
- *Ch. 5, Sec. 3 “Ship Motions and Accelerations”.*
- *Ch. 5, Sec. 4 “Load Cases”.*
- *Ch. 5, Sec. 5 “Sea Pressures”.*
- *Ch. 5, Sec. 6 “Internal Pressures and Forces”.*
- *Ch. 6, Sec. 2 “Yielding Checks”.*
- *Ch. 7, Sec. 1 “Plating”.*
- *Ch. 7, Sec. 2 “Ordinary Stiffeners”.*
- *Ch. 7, Sec. 3 “Primary Supporting Members”.*

De este modo, el presente Cuaderno se desarrollará de la siguiente manera:

- Se tomará como condición de carga más desfavorable para los cálculos la del calado de francobordo.
- Se tomará como referencia la cuaderna maestra del buque nº 11 de la base de datos “Jocay”, al igual que se ha ido haciendo en el desarrollo de todo el anteproyecto.
- Se definen una serie de parámetros previos requeridos para el cálculo de la estructura, principalmente las **dimensiones** de escantillado del buque y los **parámetros del acero** que se va a utilizar.

- A continuación, se procederá al cálculo de los **parámetros de movimiento y aceleración** a los que está sometido el buque, de tal manera que se puedan calcular los esfuerzos que va a tener que soportar. Cada elemento de la estructura estará sometido a unas determinadas presiones de diseño que serán las que determinen el escantillado, al cual se le añadirán unos coeficientes de seguridad y de corrosión que, como se verá, varían en cada caso.
- Se escantillará la sección maestra (sección media y representativa) del Buque Proyecto, situada a 48,35 m desde la perpendicular de popa (C78), de acuerdo, como mínimo, con la reglamentación de la correspondiente Sociedad de Clasificación, si bien las zonas próximas a la zona de influencia de la hélice y las partes planas de fondo de proa irán especialmente reforzadas en su estructura por encima de los mínimos reglamentarios, con objeto de reducir los efectos de las vibraciones y el cabeceo. Se selecciona esta cuaderna como cuaderna maestra debido a su posición longitudinal en el buque y la disposición de refuerzos, siendo del grupo de cuadernas más representativas de la estructura central del buque.

Se extraen del Cuaderno 4 “*Cálculos de Arquitectura Naval*” la separación de cuadernas, bulárcamas, mamparos y altura de doble fondo.

- **Zona de Popa**: desde el extremo de popa hasta el mamparo de proa de la cámara de máquinas (C45) se define una separación entre cuadernas de 600 mm.
- **Zona Central**: (C45 a C147) se define una separación entre cuadernas de 650 mm.
 - Separación de los mamparos transversales de las cubas de pescado cada 6 claras de cuaderna.
 - Separación de las bulárcamas de entrepuente cada 6 claras de cuaderna.
 - Altura de doble fondo de 1.200 mm.
- **Zona de Proa**: desde el mamparo de colisión (C147) hasta el extremo de proa se define una separación entre cuadernas de 600 mm.

3. DISEÑO ESTRUCTURAL

La estructura del casco, además de permitir una adecuada compartimentación interior del buque y resistir los esfuerzos a los que se ve sometido tanto con mar agitado como en calma, debe ser diseñada de tal manera que se garantice una perfecta estanqueidad al interior del buque.

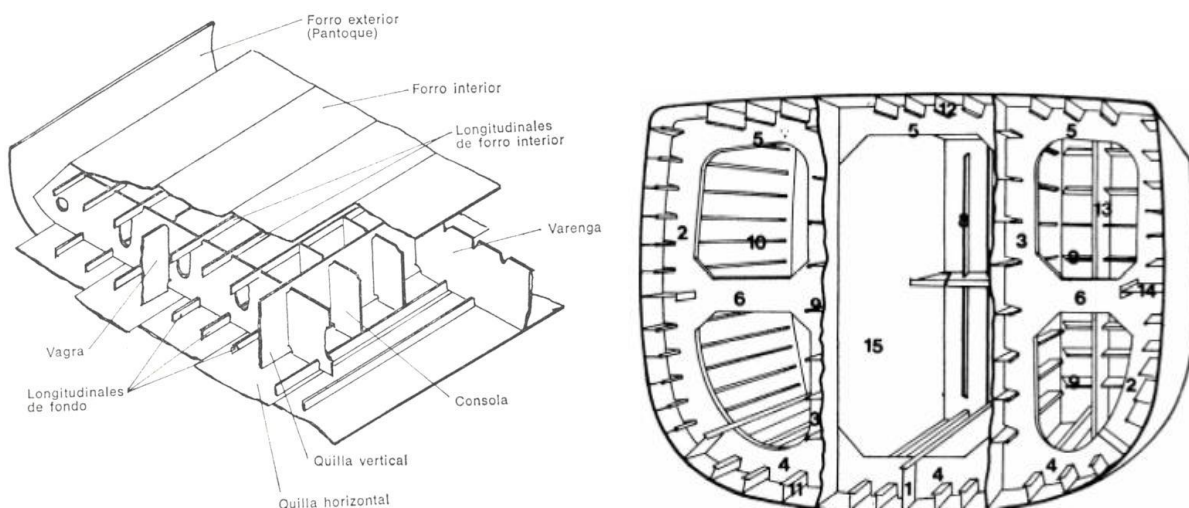
En este apartado se define el tipo de estructura que se adoptará para el Buque Proyecto. Para ello, se divide el casco en diferentes zonas y se diseñará la estructura de cada una de ellas de tal manera que se adapte a las condiciones de trabajo específicas.

Para ello, se define la estructura en función del tipo de elementos que la constituyen, por lo que se puede clasificar en dos tipos:

- **Estructura Longitudinal:** diseño que se utiliza en aquellos buques en los que se producen grandes esfuerzos tanto en la cubierta como en el fondo; los elementos, alejados del eje neutro, aportan una mayor inercia y así se consigue una disminución de esas tensiones sobre la estructura. Se consigue con este sistema de construcción un volumen de bodega mucho más limpio, un menor peso total de los elementos estructurales y una consecuente mejora en el rendimiento propulsivo por alcanzar mayores velocidades con un menor consumo de combustible.

Los elementos principales que se utilizan son:

- Esloras: rigidizan las cubiertas.
- Palmejares: rigidizan el costado.
- Vagras: rigidizan el fondo y doble fondo.



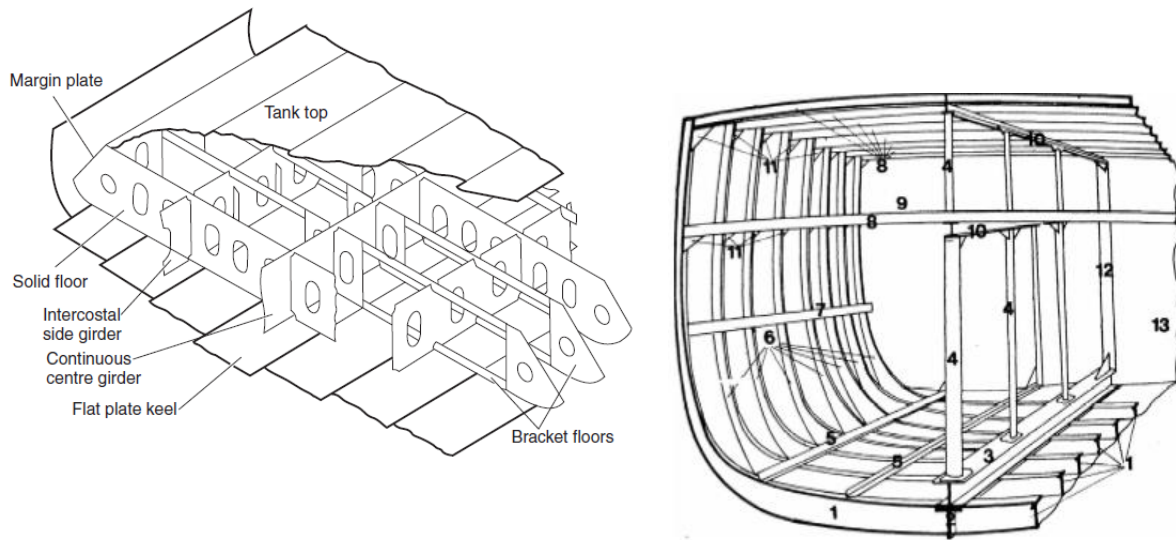
Para el Buque Proyecto se utilizará este tipo de estructura en las siguientes zonas:

- Zona de Cubas.
- Zona Entrecubiertas.

- **Estructura Transversal:** la base de la estructura la constituyen las cuadernas, que van reforzadas en su parte inferior por varengas. En este tipo de estructura las varengas son continuas, no así los longitudinales que aparecen segmentadas entre cuadernas.

Los elementos principales que se utilizan son:

- Baos: rigidizan las cubiertas.
- Bulárcamas: rigidizan el costado.
- Varengas: rigidizan el fondo y doble fondo.



Para el Buque Proyecto se utilizará este tipo de estructura en las siguientes zonas:

- *Doble Fondo.*
- *Zona de Proa.*
- *Zona de Popa.*
- *Superestructura.*

Por tanto, se opta por una **estructura de tipo mixto** para el Buque Proyecto, la cual combina un reforzado primario longitudinal y un reforzado primario transversal.

El castillo de proa y el puente no serán objeto de estudio por no tener efecto sobre el cálculo de la cuaderna maestra; sin embargo, en ambos se adopta una estructura de tipo transversal por tratarse de zonas donde no se producen grandes esfuerzos. Por contra, cabe destacar que la idea de este anteproyecto sería diseñar la superestructura de aluminio de calidad Naval, con el fin de reducir los pesos altos, bajar el centro de gravedad y así favorecer tanto la estabilidad como la velocidad y el consumo del buque.

Por otro lado, se han de tener en consideración los esfuerzos a los que se ven sometidas las zonas de proa y popa por acción de los golpes de mar ya que esto implica un sobredimensionamiento de los espesores correspondientes a dichas zonas.

Todos los miembros estructurales no estancos tendrán aligeramientos y groeras, así como accesos adecuados, en número suficiente, pero sin que sufra detrimento la resistencia estructural.

3.1. ZONA DE DOBLE FONDO

En la zona del doble fondo la estructura será de tipo **transversal**. Se dispondrá de una quilla de cajón rectangular a lo largo de todo el buque que actúa como elemento de resistencia, como asiento para las varengas y cuadernas, y además le confiere rigidez al buque. Sin embargo, y como se ha visto en el Cuaderno 5 “*Condiciones de Carga y Estabilidad*”, las condiciones de estabilidad del Buque Proyecto son óptimas para que no requiera de un peso bajo adicional, por lo que la quilla no se rellenará de mineral de hierro, consiguiendo así una mayor ligereza para la navegación.

En la proa, el fondo se reforzará especialmente para resistir los pantocazos que puedan producirse durante la navegación, por encima de los mínimos requeridos por la Sociedad de Clasificación.

Además, se dispondrán amplias groeras en las uniones de varengas al fondo y doble fondo para facilitar el drenaje y evitar la formación de bolsas de aire.

3.2. ZONA DE CUBAS

En la zona de cubas la estructura será de tipo **longitudinal** tanto en cubiertas y costados, de tal manera que se consiga, para una misma resistencia estructural, un mayor aprovechamiento del espacio y además un aligeramiento del peso del buque consiguiendo así velocidades más elevadas con un menor consumo de combustible.

En esta zona, el espesor de los refuerzos estará condicionado por el espesor del aislante instalado en las cubas de 200 mm.

3.3. ZONA DE ENTRECUBIERTAS

Entre la cubierta principal y la superior, así como en la zona del costado comprendida entre ambas cubiertas, se adoptará una estructura de tipo **longitudinal**, ya que se trata de una estructura que va a contribuir en gran medida a la resistencia longitudinal del buque.

Se estudiarán las estructuras hasta la Cubierta Principal, de modo que, para la comprobación de resultados, se supondrá la Cubierta Superior con los mismos espesores y refuerzos que la principal.

3.4. ZONA DE CÁMARA DE MÁQUINAS

En este caso, las condiciones de carga difieren de las de la zona de cubas, por lo que la estructura será de tipo **transversal** en la zona situada bajo la cubierta principal.

La razón por la que en la zona situada bajo la cubierta principal se instala una estructura de este tipo es porque esta absorbe mejor los esfuerzos cortantes, producidos en mayor medida a una distancia aproximada de proa y popa igual a $\frac{1}{4}$ de la eslora del buque.

3.5. ZONA DE PIQUE DE PROA

Por las mismas razones que en la zona de cámara de máquinas, en esta zona se adoptará una estructura de tipo **transversal**, la cual se mantendrá por encima de la cubierta principal de la zona de proa.

3.6. ZONA DE PIQUE DE POPA

A lo largo de toda la sección de popa se opta por una estructura de tipo **transversal**, ya que los momentos flectores a los que están sometidas estas zonas son relativamente bajos.

4. PARÁMETROS DE DISEÑO

En la *Pt. B, Ch. 1, Sec. 2 “Symbols and Definitions”* del reglamento aplicado, se definen una serie de variables que aparecerán en las expresiones de los cálculos a realizar.

A lo largo del cuaderno se irán definiendo todos aquellos parámetros que no hayan sido reflejados en este apartado.

4.1. DIMENSIONES DE ESCANTILLONADO

Es necesario conocer las principales características del Buque Proyecto para proceder a los cálculos requeridos en este cuaderno.

De acuerdo con las reglas de la Sociedad de Clasificación fijada en los RPA, se definen los parámetros que intervienen en la formulación de dichas reglas.

4.1.1. Calado de Escantillonado

El calado de escantillonado es la distancia, en m, medida en la sección media del buque y que coincide con el calado de verano, pero se suele tomar un valor ligeramente mayor para tener un margen ante un posible aumento del peso en rosca, del peso muerto o incremento de calado tras una avería.

En el caso del Buque Proyecto, el calado de verano coincide con el calado de diseño, al cual se aplicará un margen de 200 mm. De este modo:

$$T = 7,50 + 0,20 = 7,70 \text{ m}$$

Lo que corresponde a un desplazamiento igual a 8.217 Tn, como se muestra en la siguiente tabla de hidrostáticas:

Draft Amidships m	7,7
Displacement t	8.217
WL Length m	103,684
Beam max extents on WL m	17,999
Wetted Area m ²	2.471,615
Waterpl. Area m ²	1468,16
Prismatic coeff. (Cp)	0,637
Block coeff. (Cb)	0,599
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,926
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,844
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	44,751
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	38,267
KB m	4,393
KMt m	8,401
Immersion (TPc) tonne/cm	15,049
MTc tonne.m	96,888

4.1.2. Eslora de Escantillonado

La eslora de escantillonado es la distancia, en m, medida sobre la flotación para el calado de escantillonado, desde la cara de proa de la roda a la parte de popa del codaste popel, o al centro de la mecha del timón si no hay codaste popel. Esta distancia no deberá ser menor del máximo entre el 96% de la eslora total para el calado de escandillonado, y tampoco debe exceder del 97% de la eslora total para el calado de escantillonado considerado.

$$L_{flt} = L_{pp} = 96,70 \text{ m}$$

$$L_{\min} = 0,96 \cdot 96,70 = 92,83 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 0,97 \cdot 96,70 = 93,80 \text{ m } \text{ ó } L_{pp} \text{ (si es menor que } 93,80 \text{ m)}$$

De manera que se opta por hacer una media entre el máximo y el mínimo para obtener la eslora de escantillonado:

$$L = 0,97 \cdot L_{flt} = 93,80 \text{ m}$$

4.1.3. Manga de Escantillonado

La manga de trazado es la máxima manga, en m, medida en el centro del buque bajo la cubierta resistente.

$$B = 18,00 \text{ m}$$

4.1.4. Puntal de Escantillonado

Distancia vertical, en m, desde la línea base a la cubierta continua más alta medida en el centro del buque.

$$D_{sup} = 11,00 \text{ m}$$

4.1.5. Coeficiente de Bloque

Es el coeficiente de bloque correspondiente al calado de escantillonado, la eslora de escantillonado, y la manga de trazado

$$CB = \frac{\Delta}{1,025 \cdot L \cdot B \cdot T} = \frac{8.217}{1,025 \cdot 93,80 \cdot 18,00 \cdot 7,70} = 0,616$$

4.1.6. Clara Reglamentaria entre Cuadernas

Como se ha establecido en el Cuaderno 4 “Cálculos de Arquitectura Naval”, la separación de cuadernas será la siguiente:

- **Zona de Popa:** desde el extremo de popa hasta el mamparo de proa de la cámara de máquinas (C45) se define una separación entre cuadernas de 600 mm.
- **Zona Central:** (C45 a C147) se define una separación entre cuadernas de 650 mm.
- **Zona de Proa:** desde el mamparo de colisión (C147) hasta el extremo de proa se define una separación entre cuadernas de 600 mm.

De modo que para escantillonar la cuaderna maestra se aplicará la separación entre cuadernas de **650 mm**.

4.1.7. Dimensiones Finales de Escantillonado

A continuación, se muestra la tabla resumen con los parámetros que se van a utilizar para los cálculos.

Dimensión	Valor
Calado de Escantillonado (m)	7,70
Eslora de Escantillonado (m)	93,80
Manga de Escantillonado (m)	18,00
Puntal de Escantillonado (m)	11,00
Coefficiente de Bloque	0,617
Desplazamiento (Tn)	8.217

4.2. SEPARACIÓN DE REFUERZOS

En este apartado se procede a realizar la descripción de la configuración de los refuerzos de las diferentes zonas de una sección maestra. Para ello se tomará como referencia la sección representativa del buque de referencia “Jocay”.

- **Anillo Transversal (Varengas, Bulárcamas, Baos Reforzados)**

El reglamento, en su *Pt. B, Ch. 4, Sec 4 [5.2]*, indica que se debe disponer de varengas llenas formadas por planchas a una distancia que no exceda los 3 m.

La separación entre varengas será de una clara de cuaderna, esto es, **650 mm**.

En la zona del buque a estudiar, se situarán las varengas del doble fondo, bulárcamas, baos reforzados bajo cubierta y mamparos estancos cada 6 claras

de cuaderna (separación entre cuadernas de 650 mm), cerrando los anillos transversales, lo que supone un espaciado de **3.900 mm**.

A su vez, las varengas estarán reforzadas por una serie de pletinas espaciadas **1.100 mm** como máximo entre sí.

- **Separación de Vagras**

El reglamento, en su *Pt. B, Ch. 4, Sec 4 [5.3]* establece una separación máxima entre vagras adyacentes de 4.500 mm.

De este modo, se colocarán dos vagras a cada costado; una vagra central y una lateral, las cuales servirán de refuerzo a la chapa de doble fondo. De este modo, se sitúa una a **1.000 mm** de crujía y la siguiente a **3.700 mm** de la anterior (4.700 mm de crujía).

- **Elementos Longitudinales**

Se emplearán longitudinales para dotar a la cubierta de resistencia longitudinal, siendo la separación entre éstos de **550 mm**.

A su vez, se dispondrán de refuerzos longitudinales de costado cada **575 mm**.

La luz de ambos refuerzos coincidirá con la separación entre anillos transversales (6 claras de cuaderna), lo que equivale a **3.900 mm**.

- **Puntales**

Se han ubicado puntales para reducir la luz de los baos reforzados y así las tensiones soportadas por los mismos. De este modo, se sitúa un puntal a **2.000 mm** de crujía y otro a **3.100 mm** del anterior (5.100 mm de crujía). En sentido longitudinal y sobre la cubierta principal, los puntales estarán separados cada 13 claras de cuaderna, lo que equivale a **8.450 mm**.

- **Mamparos Estancos**

Los mamparos transversales estancos que separan las cubas de carga dispondrán de refuerzos verticales cada **550 mm**.

En la siguiente página, se muestra una tabla resumen con la configuración de dichos refuerzos:

Separación entre Refuerzos (mm)	
Separación entre Cuadernas	650
Separación entre Mamparos	3.900
Separación de refuerzos de Mamparos	550
Separación entre Varengas	650
Separación entre Bulárcamas	3.900
Separación entre Baos	3.900
Vagra Central (distancia desde LC)	1000
Vagra Lateral (distancia desde LC)	4.700
Separación entre Longitudinales de Cubierta	550
Separación entre Longitudinales de Costado	575
Puntal Central (distancia desde LC)	2.000
Puntal Lateral (distancia desde LC)	5.100
Separación Longitudinal de Puntales	8.450
Separación de Pletinas de Varengas	1.100

4.3. MATERIALES

El casco se construirá con chapas y perfiles de acero calidad Naval, fabricadas por procedimiento aprobado por la Sociedad de Clasificación (*Pt. B, Ch. 4, Sec. 1*).

Se utilizará en general calidad Naval A, y se prestará especial atención al uso de calidades D, E y Z en aquellas zonas donde lo requiera el reglamento de la clasificadora y la buena práctica del diseño naval actual.

En las cubas de congelación se tendrá en cuenta una temperatura de -25/-30 grados centígrados, construyéndose en calidad Naval D.

Todos estos aceros (A-E) utilizados en la construcción naval, se denominan aceros dulces cuyo contenido en carbono se sitúa entre el 0,15% y el 0,26%, casi hierro puro, que además es muy dúctil y resistente a la corrosión y se puede soldar con una técnica adecuada.

Las principales características de estos tipos de aceros dulces se extraen de las siguientes tablas del reglamento:

Table 1 : Mechanical properties of hull steels

Steel grades	t, in mm	R_{eH1} , in N/mm ²	R_m , in N/mm ²
A-B-D-E	≤ 100	235	400 - 520
AH32-DH32-EH32	≤ 100	315	440 - 570
FH32	≤ 50		
AH36-DH36-EH36	≤ 100	355	490 - 630
FH36	≤ 50		
AH40-DH40-EH40 FH40	≤ 50	390	510 - 660

Note 1: Refer to NR216 Materials, Ch 2, Sec 1, [2].
t : Gross thickness
 R_{eH1} : Minimum yield stress
 R_m : Ultimate minimum tensile strength.

Table 4 : Material grade requirements for classes I, II and III

Class	I		II		III	
	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
Gross thickness, in mm						
t ≤ 15	A	AH	A	AH	A	AH
15 < t ≤ 20	A	AH	A	AH	B	AH
20 < t ≤ 25	A	AH	B	AH	D	DH
25 < t ≤ 30	A	AH	D	DH	D	DH
30 < t ≤ 35	B	AH	D	DH	E	EH
35 < t ≤ 40	B	AH	D	DH	E	EH
40 < t ≤ 50	D	DH	E	EH	E	EH

Note 1: NSS and HSS mean, respectively, Normal Strength Steel and Higher Strength Steel.

- **Módulo de Young**

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

- **Carga de Rotura**

$$R_m = \sigma_R = 400 - 520 \text{ N/mm}^2$$

- **Límite Elástico**

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

- **Coefficiente de Poisson**

$$\mu = 0,3$$

- **Alargamiento**

$$\varepsilon = 22\%$$

4.4. ESPESOR DE CORROSIÓN

A los cálculos de espesores de plancha hay que añadirles un espesor adicional, el valor del factor de corrosión t_k , en previsión del desgaste por efecto de la corrosión durante su uso normal. Su valor, en función del límite elástico del acero, es el que se especifica en la siguiente tabla (Pt. B, Ch. 4, Sec. 1 – [2.3]).

Table 2 : Material factor k

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

En popa, el cajón de entrada de la panga se reforzará especialmente para el choque con chapa de 40 mm de espesor.

5. PARÁMETROS DE MOVIMIENTO DEL BUQUE

A la hora de realizar los cálculos de los distintos elementos, se hará uso de una serie de valores y dimensiones comunes que se muestran en la siguiente tabla del reglamento Bureau Veritas (*Pt. B, Ch. 1, Sec.2 “Symbols and Definitions”*):

Table 1 : Units

Designation	Usual symbol	Units
Ship's dimensions	see [2]	m
Hull girder section modulus	Z	m ³
Density	ρ	t/m ³
Concentrated loads	P	kN
Linearly distributed loads	q	kN/m
Surface distributed loads (pressures)	p	kN/m ²
Thicknesses	t	mm
Span of ordinary stiffeners and primary supporting members	ℓ	m
Spacing of ordinary stiffeners and primary supporting members	s	m
Bending moment	M	kN-m
Shear force	Q	kN
Stresses	σ, τ	N/mm ²
Section modulus of ordinary stiffeners and primary supporting members	w	cm ³
Sectional area of ordinary stiffeners and primary supporting members	A	cm ²

Algunos de los valores que se van a aplicar y que no se muestran en la tabla se obtienen a continuación.

5.1. COEFICIENTE DE NAVEGACIÓN

Se obtienen los coeficientes de navegación en el reglamento *Bureau Veritas*, (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 1 – [2.6]*).

Como se ha fijado en los RPA del Buque Proyecto, la navegación será del tipo “unrestricted navigation”. De este modo, se extraen de la tabla correspondiente los siguientes coeficientes:

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

Por lo que los coeficientes de navegación que se utilizarán para los cálculos son:

$$n = 1$$

$$n_1 = 1$$

5.2. NÚMERO DE FROUDE

Se obtiene el número de Froude en el reglamento Bureau Veritas, (Pt. B, Ch. 5, Sec. 2 “Hull Girder Loads”).

$$F = 0,164 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}} = 0,164 \cdot \frac{19,00}{\sqrt{93,80}} = \mathbf{0,321}$$

Donde V es la velocidad máxima de servicio en nudos. Se toman **19 nudos**.

5.3. PARÁMETRO DE OLA

Se obtiene el parámetro que define la ola en el reglamento *Bureau Veritas*, (Pt. B, Ch. 5, Sec. 2 “Hull Girder Loads”).

Para buques con una eslora comprendida entre 90 m y 300 m, la expresión que se aplica es la siguiente:

$$C = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1,5} = 10,75 - \left(\frac{300 - 93,80}{100}\right)^{1,5} = \mathbf{7,789}$$

5.4. PARÁMETRO DE OLA EN m

Se obtiene el parámetro que definen la ola en metros, para buques con una eslora menor de 350 m, en el reglamento Bureau Veritas, (Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 “Ship Motions and Accelerations”).

$$h_w = 11,44 - \left(\frac{L - 250}{110}\right)^3 = 11,44 - \left(\frac{93,80 - 250}{110}\right)^3 = \mathbf{14,30 m}$$

5.5. PARÁMETRO DE ACELERACIÓN Y MOVIMIENTO

Se obtiene el parámetro de aceleración y movimiento en el reglamento Bureau Veritas, (Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 “Ship Motions and Accelerations”).

$$a_B = n \cdot \left(0,76 \cdot F + 1,875 \cdot \frac{h_w}{L}\right) = 1 \cdot \left(0,76 \cdot 0,321 + 1,875 \cdot \frac{14,30}{93,80}\right) = \mathbf{0,530 m/s^2}$$

5.6. VALOR DE REFERENCIA DEL MOVIMIENTO RELATIVO DEL BUQUE (h_1)

El movimiento relativo del buque es la traslación vertical oscilatoria de la línea de flotación en el costado del buque. Es medido, con su signo, desde la flotación al calado T, asumiendo que es simétrico a ambos lados de la embarcación.

Se considera el buque en las siguientes condiciones:

- Buque adrizado: las olas producen un movimiento del barco en el plano X-Z.
- Buque escorado: las olas producen un movimiento del barco en los planos X-Y e Y-Z.

El valor de referencia de este parámetro para el buque adrizado, para la sección maestra ($0,3 \cdot L < x < 0,7 \cdot L$), se obtiene del reglamento (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 – [3.3]*).

Table 4 : Reference value of the relative motion h_1 in the upright ship condition

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

$$h_1 = 0,42 \cdot C \cdot (CB + 0,7) = 0,42 \cdot C \cdot (CB + 0,7) = 4,307 m$$

No siendo mayor que: $T = 7,70 m$ ó $D - 0,9 \cdot T = 11,00 - 0,9 \cdot 7,70 = 4,07 m$

Por lo que:

$$h_1 = 4,07 m$$

5.7. VALORES MÁXIMOS DE REFERENCIA DE LAS ACELERACIONES

Los valores de referencia de las aceleraciones longitudinal, transversal y vertical para el buque adrizado se extraen de *Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 – [3.4]* del reglamento.

Table 5 : Reference values of the accelerations a_x , a_y and a_z

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

X – Longitudinal

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2}$$

Cuyos parámetros que definen la expresión son los siguientes:

a_{SU} (aceleración de las olas en m/s^2) = 0,5 m/s^2 , (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 – [2.1]*).

g (gravedad en m/s^2) = 9,81 m/s^2 .

T_1 (calado de escantillonado en m) = 7,70 m.

z (posición vertical del punto de diseño) = 0 m (se toma la línea base).

A_p (amplitud de cabeceo en radianes), T_p (periodo de cabeceo en s), α_p (aceleración de cabeceo en rad/s^2), (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 - [2.5]*).

Table 3 : Pitch amplitude, period and acceleration

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

donde:

$$A_p = 0,328 \cdot 0,530 \cdot \left(1,32 - \frac{14,30}{93,80}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{0,617}\right)^{0,75} = 0,199 \text{ m/s}^2$$

$$T_p = 0,575 \cdot \sqrt{93,80} = 5,569 \text{ s}$$

$$\alpha_p = 0,197 \cdot \left(\frac{2 * \pi}{5,569}\right)^2 = 0,253 \text{ rad/s}^2$$

$$a_{x1} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (0 - 7,70)]^2} = \mathbf{0,500 \text{ m/s}^2}$$

Y – Transversal

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

Z – Vertical

$$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 \cdot K_X \cdot L^2}$$

Cuyos parámetros que definen la expresión son los siguientes:

a_H (aceleración de tiro en m/s^2) = $a_B \cdot g$, (Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 – [2.3]).

x (posición longitudinal del punto de diseño en m) = $0,5 \cdot L$ m.

$$a_H = a_B \cdot g = 0,530 \cdot 9,81 = 5,204 \text{ m/s}^2$$

$$K_X = 1,2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1,1 \cdot \left(\frac{x}{L}\right) + 0,2 = 1,2 \cdot 0,5^2 - 1,1 \cdot 0,5 + 0,2 = -0,05 < 0,018$$

por lo tanto $K_X = 0,018$

$$a_{z1} = \sqrt{5,204^2 + 0,253^2 \cdot 0,018 \cdot 93,80} = \mathbf{6,102 \text{ m/s}^2}$$

5.8. PARÁMETROS DE CABECEO

Los parámetros de cabeceo del buque (amplitud, periodo y aceleración), calculados en el apartado anterior, se extraen de Pt. B, Ch. 5, Sec. 3 – [2.5] del reglamento Bureau Veritas

$$A_p = 0,328 \cdot 0,530 \cdot \left(1,32 - \frac{14,30}{93,80}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{0,617}\right)^{0,75} = 0,199 \text{ m/s}^2$$

$$T_p = 0,575 \cdot \sqrt{93,80} = 5,569 \text{ s}$$

$$\alpha_p = 0,197 \cdot \left(\frac{2 * \pi}{5,569}\right)^2 = 0,253 \text{ rad/s}^2$$

5.9. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla resumen:

Parámetros de Movimiento	Símbolo	Valor
Coeficiente de Navegación	$n = n_1$	1
Froude	F	0,322
Parámetro de Ola	C	7,789
Parámetro de Ola (m)	h_w	14,303
Aceleración de las Olas (m/s^2)	a_{SU}	0,500
Parámetro de aceleración y movimiento (m/s^2)	a_B	0,530
Valor de ref del mvto relativo del buque en m	h_1	4,070
Valores máximos de ref. de las ac. en (m/s^2)		
<i>Longitudinal</i>	a_{x1}	0,500
<i>Transversal</i>	a_{y1}	0
<i>Vertical</i>	a_{z1}	6,102
Aceleración de Tiro (m/s^2)	a_H	5,204
	K_X	0,018
Parámetros de Cabeceo		
<i>Amplitud (m)</i>	A_p	0,199
<i>Periodo (s)</i>	T_p	5,569
<i>Aceleración (m/s^2)</i>	α_p	0,253

6. MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA

El módulo o momento resistente es la magnitud, en m^3 , que caracteriza la resistencia de una estructura sometida a flexión. Se calcula a partir de la forma y dimensiones de la sección transversal, en este caso la sección maestra, y representa la relación entre las tensiones máximas sobre ella y el esfuerzo de flexión aplicado.

Es por ello que, en un primer momento, se diseña la cuaderna maestra como se adjunta en el ANEXO I con las separaciones indicadas en el apartado 4.2 de este Cuaderno.

Como indica el reglamento, el módulo máximo, en m^3 , respecto al eje neutro transversal dentro de $0,4 \cdot L$ de la sección media se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Z'_R = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{\sigma_{1ALL}} \cdot 10^{-3} = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{175} \cdot 10^{-3}$$

De manera que se necesita calcular previamente los momentos flectores de diseño dentro de $0,4 \cdot L$ de la sección media, tanto en aguas tranquilas (*Pt. B. Ch. 5, Sec. 2 – [2.2]*) como en olas (*Pt. B. Ch. 5, Sec. 2 – [3.1]*), siguiendo el reglamento aplicado.

- En Aguas Tranquilas:

$$\begin{aligned} M_{SW_H} &= 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0,7) \cdot 10^{-3} - M_{WV_H} \text{ (quebranto)} \\ M_{SW_H} &= 175 \cdot 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot (0,617 + 0,7) \cdot 10^{-3} - 144.610,79 \\ &= \mathbf{139.695,00 \text{ kN} \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{SW_S} &= 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0,7) \cdot 10^{-3} + M_{WV_S} \text{ (arrufo)} \\ M_{SW_S} &= 175 \cdot 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot (0,617 + 0,7) \cdot 10^{-3} - 178.706,52 \\ &= \mathbf{105.599,31 \text{ kN} \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

- En Olas:

$$\begin{aligned} M_{WV_H} &= 190 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot CB \cdot 10^{-3} \text{ (quebranto)} \\ M_{WV_H} &= 190 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot 0,617 \cdot 10^{-3} = \mathbf{144.610,79 \text{ kN} \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{WV_S} &= -110 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ (arrufo)} \\ M_{WV_S} &= -110 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot (0,617 + 0,7) \cdot 10^{-3} = \mathbf{-178.706,52 \text{ kN} \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

donde:

F_M = factor de distribución. Para la sección maestra se toma valor 1.

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
$0,65 L < x \leq L$	$2,86 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$

Sin embargo, se podría dar la situación en la que una o varias condiciones de carga excedan estos momentos flectores de diseño, incrementando el valor del módulo obtenido a partir de los momentos flectores de diseño. Es por ello que este cuaderno se ha realizado a partir de un procedimiento simplificado que consiste en aplicar el valor del módulo mínimo para la sección maestra, cuyo valor se obtiene de la siguiente manera (Pt. B. Ch. 6, Sec. 2 – [4.2]):

$$Z'_{R,MIN} = n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0,7) \cdot k \cdot 10^{-6}$$

$$Z'_{R,MIN} = 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot (0,617 + 0,7) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = \mathbf{1,625 m^3}$$

Además, los módulos mínimos requeridos por la Sociedad de Clasificación para el fondo y la cubierta se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$Z_{Rfondo} = \frac{M_{SWS} + M_{WVS}}{\sigma_{1,ALL}} \cdot 10^{-3} = \frac{105.599,31 + 178.706,52}{175} \cdot 10^{-3} = 1,625 m^3$$

$$Z_{Rcubierta} = \frac{M_{SWH} + M_{WVH}}{\sigma_{1,ALL}} \cdot 10^{-3} = \frac{139.695,00 + 144.610,79}{175} \cdot 10^{-3} = 1,625 m^3$$

Una vez obtenido este resultado, se procede al cálculo del momento de inercia mínimo (I_y) de la sección media, en m^4 , sobre su eje neutro horizontal, (Pt. B, Ch. 6, Sec. 2 – [4.3]), el cual no puede ser menor que:

$$I_{y,min} = 3 \cdot \frac{n}{n_1} \cdot Z'_{R,MIN} \cdot L \cdot 10^{-2}$$

$$I_{y,min} = 3 \cdot \frac{1}{1} \cdot 1,625 \cdot 93,80 \cdot 10^{-2} = \mathbf{4,572 m^4}$$

Teniendo en cuenta que la inercia de este tipo de buques es mayor que la inercia mínima requerida por el reglamento, para los cálculos se tomará un **momento de inercia** de la sección maestra de **10,00 m⁴**.

De este modo, se llevarán a cabo los cálculos estructurales a partir de una estimación del módulo resistente; sin embargo, al final de este Cuaderno y con la sección completamente definida, se calculará el verdadero módulo resistente de la sección, el cual debe ser mayor al calculado por el reglamento.

7. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO: CARGAS DE DISEÑO

En este apartado se procede a explicar el procedimiento de cálculo de las presiones en cada caso.

Las cargas locales, definidas en el Bureau Veritas, hacen referencia a las presiones y fuerzas que actúan directamente sobre cada uno de los elementos que forman la estructura (planchas, refuerzos primarios y refuerzos secundarios). Dichas fuerzas pueden deberse al efecto del mar (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 5 “Sea Pressures”*), o bien a las aceleraciones provocadas en cargas internas dentro del casco (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 6 “Internal Pressures and Forces”*).

El reglamento distingue varios tipos de cargas que actúan localmente sobre los elementos estructurales del buque y que obligan a reforzar la estructura. Son las siguientes (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 1 – [1]*):

- **Cargas de aguas tranquilas:** actúan sobre el buque en una situación de aguas calmadas estando éste en reposo. Están constituidas por las presiones hidrostáticas externas por el mar, y por las presiones y fuerzas estáticas inducidas por los pesos internos del buque.
- **Cargas de ola e inerciales:** aquellas debidas a las olas y a los movimientos del buque. Están constituidas por las presiones externas debidas a las olas del mar, y las presiones y fuerzas inerciales debidas a las aceleraciones sobre los pesos internos del buque.
- **Cargas dinámicas:** aquellas cuya duración es mucho menor que el periodo de las olas inducidas y que están constituidas por las presiones de impacto y el “sloshing”.

Por otro lado, existen unas cargas debidas al efecto que producen todas las fuerzas actuando de manera conjunta sobre el buque, el cual se modeliza como una viga. Son las cargas del buque viga, las cuales se estudiarán en el apartado 7 de este Cuaderno para el cálculo de los espesores de las estructuras.

En el reglamento, (*Pt. B, Ch. 5, Sec. 4 – [2]*), se definen las cuatro condiciones de carga (“a”, “b”, “c”, y “d”), de manera que las condiciones “a” y “b” se refieren a buques en situación adrizada, mientras que “c” y “d” se refieren a la condición inclinada. Para los cálculos requeridos en este cuaderno, se estudiarán las dos primeras condiciones.

Es fundamental realizar un estudio detallado de todas las presiones ya que será la más desfavorable la que condicionará el escantillonado local de la estructura.

7.1. PRESIONES INDUCIDAS POR AGUAS TRANQUILAS (p_s)

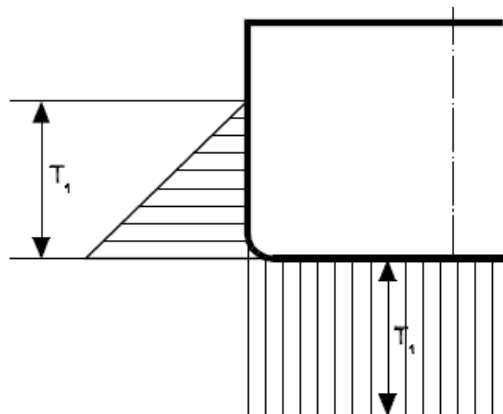
7.1.1. Presión Externa en el Costado y Fondo del Buque.

Según se indica en el reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 5 – [1.1]), la presión inducida por las aguas tranquilas en el fondo del buque y en los costados por debajo de la flotación, en kN/m^2 , se calcula a partir de la siguiente expresión:

Table 1 : Still water pressure

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

Figure 1 : Still water pressure



$$p_s = \rho \cdot g \cdot (T_1 - z)$$

donde

ρ = densidad de agua salada en Tn/m^3

g = gravedad en m/s^2 .

T = calado de escantillonado, en m.

z = posición del punto de diseño, en m.

7.1.2. Presión en Cubiertas de Acomodación

El reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 6 – [7]) indica que, para cubiertas de acomodación, la presión en kN/m² la definirá el diseñador y, en general, no se tomará menor que los valores extraídos de la siguiente tabla:

Table 11 : Minimum 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

7.1.3. Presión Interna de Tanques de Doble Fondo

Según se indica en el reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 6 – [1.1.1]), la presión interna de los tanques de líquidos en aguas tranquilas, en kN/m², será la mayor de las siguientes expresiones:

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

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

Nunca menor que:

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

donde:

ρ_L = densidad, en Tn/m³, del líquido transportado.

z_L = coordenada z, en m, del punto más alto del líquido.

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

z_{TOP} = coordenada z, en m, del punto más alto del tanque.

z_{AP} = coordenada z, en m, de la línea de trazado de la cubierta hasta la cual se extienden los atmosféricos del tanque, no tomada menor que z_{top} . Se toma a 1,5 m desde la cubierta superior.

$$z_{AP} = 11,00 + 1,5 = 12,50 \text{ m}$$

p_{PV} = presión de ajuste, en bar, de las válvulas de seguridad. Se toman 0,7 bar.

7.2. PRESIONES INDUCIDAS POR OLAS (p_w)

7.2.1. Presión Externa en el Costado y Fondo del Buque.

Como se indica en el reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 5 – [2.1]), para el buque adrizado en la condición de carga “a” y “b”, la presión inducida bajo la línea de flotación por las olas en las planchas del fondo y del costado del buque, en kN/m^2 , se obtiene a partir de la formulación extraída de la siguiente tabla:

Figure 2 : Wave pressure in load case “a”

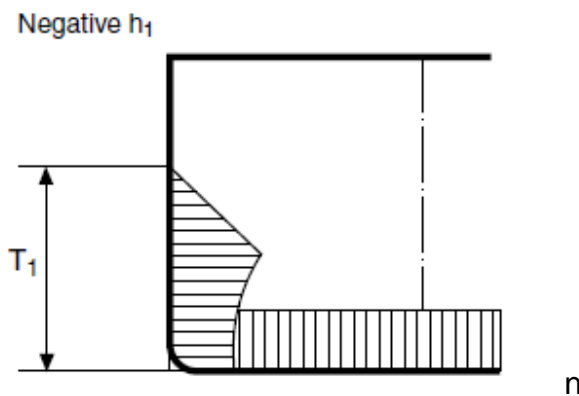
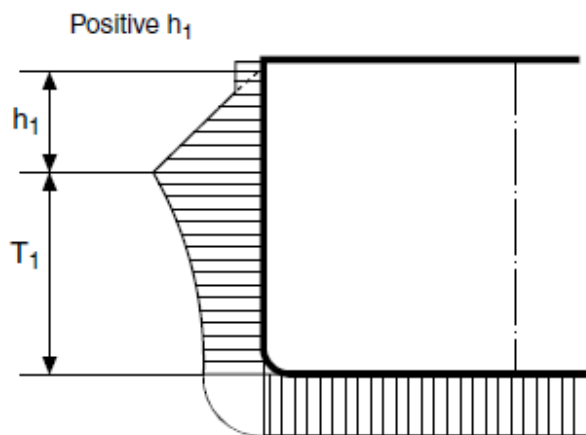


Figure 3 : Wave pressure in load case “b”

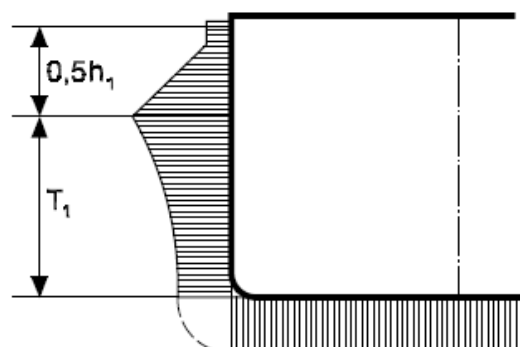


Table 4 : Wave pressure on sides and bottom in upright ship conditions (load cases "a" and "b")

Location	Wave pressure p_w , in kN/m ²	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \phi_1 \phi_2 L$	0,0
Note 1: $h = C_{F1} h_1$ C_{F1} : Combination factor, to be taken equal to: <ul style="list-style-type: none"> • $C_{F1} = 1,0$ for load case "a" • $C_{F1} = 0,5$ for load case "b". 		

$$p_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T_1 - z)}{L}}$$

donde

$$h = C_{F1} \cdot h_1$$

$C_{F1} = 1,0$ para condición de carga "a".

$C_{F1} = 0,5$ para condición de carga "b".

7.2.2. Presión Inercial en Cubiertas de Acomodación

Como se indica en el reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 6 – [7]), para el buque adrizado en la condición de carga "a" y "b", la presión inducida por las olas en las cubiertas principal, en kN/m², se obtiene a partir de la siguiente expresión extraída de la tabla:

**Table 10 : Accommodation
Still water and inertial pressures**

Ship condition	Load case	Still water pressure p_s and inertial pressure p_w , in kN/m ²
Still water		The value of p_s is to be defined by the Designer, without being taken less than the values in Tab 11 depending on the type of the accommodation compartment.
Upright (positive heave motion)	"a"	No inertial pressure
	"b"	$p_w = p_s \frac{a_{z1}}{g}$
Inclined	"c"	The inertial pressure transmitted to the deck structures in inclined condition may generally be disregarded. Specific cases in which this simplification is not deemed permissible by the Society are considered individually.
	"d"	

$$p_w ("b") = p_s \cdot \frac{a_{z1}}{g}$$

7.2.3. Presión Interna de Tanques de Doble Fondo

Siguiendo el reglamento Bureau Veritas (Pt. B, Ch. 5, Sec. 6 – [1.1.2]), los valores de presión interna en tanques de doble fondo en las condiciones de carga “a” y “b” son los que se extraen de las expresiones que se muestran a continuación.

A su vez, se ha de comprobar que se cumple la siguiente condición:

$$p_S + p_W \geq 0$$

Table 1 : Watertight bulkheads of liquid compartments - Inertial pressure

Ship condition	Load case	Inertial pressure p_W , in kN/m ²
Upright	“a”	No inertial pressure
	“b”	$\rho_L [0, 5 a_{X1} \ell_B + a_{Z1} (z_{TOP} - z)]$
Inclined (negative roll angle)	“c”	$\rho_L [a_{TY}(y - y_H) + a_{TZ}(z - z_H) + g(z - z_{TOP})]$
	“d”	

Note 1:
 ℓ_B : Longitudinal distance, in m, between the transverse tank boundaries, without taking into account small recesses in the lower part of the tank (see Fig 1)
 a_{TY}, a_{TZ} : Y and Z components, in m/s², of the total acceleration vector defined in [1.1.3] for load case “c” and load case “d”
 y_H, z_H : Y and Z co-ordinates, in m, of the highest point of the tank in the direction of the total acceleration vector, defined in [1.1.4] for load case “c” and load case “d”.

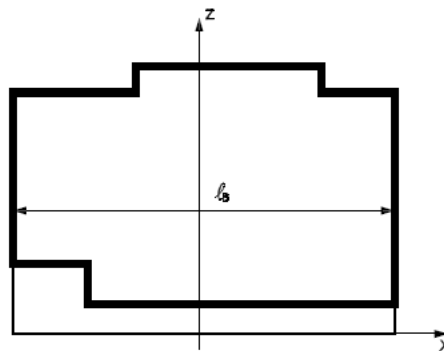
Para la condición de buque adrizado “a”, no se considera presión inercial, mientras que para la condición de carga “b”, esta presión se obtiene a partir de la expresión:

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$

donde:

l_B = distancia longitudinal, en m, entre los límites transversales del tanque.

Figure 1 : Upright ship conditions - Distance ℓ_B



8. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA CUADERNA MAESTRA

En este apartado se calcularán las presiones que actúan sobre cada una de las zonas del buque siguiendo el procedimiento indicado en el apartado anterior de este Cuaderno.

Como se adelantaba, 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 internas inducidas en tanques por aguas tranquilas.
- Presiones externas inducidas por olas.
- Presiones internas inducidas en tanques por fuerzas inerciales.
- Presiones inducidas por aguas tranquilas e inerciales en zonas de acomodación.

No se considerará la presión denominada presión de inundación, que afecta a 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 el estudio que se realiza a continuación, se tomará la mayor de las presiones requeridas que afecte a cada uno de los citados elementos, y será esta la que condicione el escantillonado local.

Como ejemplo, para el cálculo de presiones de los tanques de combustible del doble fondo, se considera por un lado los efectos externos inducidos por el mar, y por otro los efectos que el combustible produce en el tanque, de forma independiente. Como es razonable, el resultado que se elige para el escantillonado del elemento considerado es el más desfavorable (el mayor).

Se realiza el mismo procedimiento en el caso de aquellos elementos que no pertenecen al forro exterior, en el que sólo se consideran las cargas internas. En el caso de los elementos situados entre dos compartimentados adyacentes, se deben calcular las presiones de forma independiente, por lo que no se consideran simultáneamente cargados.

A partir de los resultados obtenidos y aplicando el reglamento (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 "Plating"), se calcularán los espesores mínimos requeridos para el diseño de las distintas chapas de la sección de estudio del Buque Proyecto:

- Chapa del Fondo.
- Chapa del Pantoque.
- Chapa del Doble Fondo.
- Chapa del Costado.
- Chapa de Cubierta Principal.
- Mamparo Transversal Estanco.

La formulación aplicada para el cálculo de espesores se extrae del reglamento *Bureau Veritas* (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [3.3], [3.4]) y tiene en cuenta tanto los efectos provocados

por las cargas generadas por todas las fuerzas actuando de manera conjunta sobre el buque (cargas del buque viga), como las presiones laterales inducidas por aguas tranquilas y olas estudiadas en el apartado 6 del presente Cuaderno (p_s y p_w). De este modo, la expresión utilizada varía en función del tipo de reforzado de la chapa:

CHAPAS QUE CONTRIBUYEN A LA RESISTENCIA LONGITUDINAL:

- **Chapa Reforzada Longitudinalmente**

Para tensiones actuando sobre el lado corto de los paneles del *costado y cubierta* (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [3.3]), el espesor no ha de ser menor que:

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

donde

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

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

- **Chapa Reforzada Transversalmente**

Para tensiones actuando sobre el lado corto de los paneles del *fondo y doble fondo* (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [3.3]), el espesor no ha de ser menor que:

$$t = 17,2 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{\lambda_T \cdot R_y}}$$

donde

$$\lambda_T = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_y}\right)^2 - 0,89 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}}$$

- **Pantoque reforzado Transversalmente**

Para tensiones actuando sobre el lado corto de los paneles del *pantoque* (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [2.3]), el espesor no ha de ser menor que:

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

Donde:

R = radio de pantoque, en m. Se toman **2,5 m** (valor extraído del plano sección maestra).

s_b = separación de los refuerzos del pantoque, en m.

CHAPAS QUE NO CONTRIBUYEN A LA RESISTENCIA LONGITUDINAL:

Para el cálculo del espesor tanto del *mamparo estanco* como de las *varengas del doble fondo* (se estudiarán como una chapa plana), se aplica la siguiente expresión (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [3.5]):

$$t = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_W}{R_y}}$$

El reglamento considera una serie de factores de seguridad (“γ”) que se reflejan en la siguiente tabla (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [1.2])

Table 1 : Plating - Partial safety factors

Partial safety factors covering uncertainties regarding	Symbol	Strength check of plating subjected to lateral pressure			Buckling check (see [5])
		General	Flooding pressure	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 [3.3.2], [3.4.2] and [3.5.2])	
Still water hull girder loads	γ _{S1}	1,00	1,00	Not applicable	1,00
Wave hull girder loads	γ _{W1}	1,15	1,15	Not applicable	1,15
Still water pressure	γ _{S2}	1,00	1,00	1,00	Not applicable
Wave pressure	γ _{W2}	1,20	1,20	Not applicable	Not applicable
Material	γ _m	1,02	1,02	1,02	1,02
Resistance	γ _R	1,20 (2)	1,05 (1)	1,05 (2)	1,10

(1) For plating of the collision bulkhead, γ_R = 1,25. This requirement may be disregarded when damage stability considers at least two adjacent compartments flooded.
(2) For plating of decks and side walls of ammunition storage, for assessment under flooding by fire-extinguishing system, γ_R = 1,05. This requirement may be disregarded when the extinguishing system used for ammunition storage is not by flooding of the compartment

Según el reglamento (Pt. B, Ch. 4, Sec. 2 – [3.1]), se aplican unos valores de adición por corrosión a cada una de las caras expuestas del elemento debido al contacto de ambas superficies con medios que pueden provocar este fenómeno.

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

Compartment type		General (1)	Special cases
Ballast tank		1,00	1,25 in upper zone (2)
Fuel oil tank	Plating of horizontal surfaces	0,75	1,00 in upper zone (2)
	Plating of non-horizontal surfaces	0,50	1,00 in upper zone (2)
	Ordinary stiffeners and primary supporting members	0,75	1,00 in upper zone (2)
Accommodation space		0,00	
Compartments other than those mentioned above Outside sea and air		0,50	

(1) General: corrosion additions t_c are applicable to all members of the considered item with possible exceptions given for upper and lower zones.
(2) Upper zone: area within 1,5 m below the top of the tank. This is to be applied only to tanks with weather deck as the tank top.

Como regla (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 - [2]), el espesor de chapa no ha de ser menor que los valores reflejados en la siguiente tabla:

- **Chapa de Fondo reforzada Transversalmente**

$$t_{min} = 2,8 + 0,032 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

- **Chapa de Doble Fondo (alejada de cámara de máquinas)**

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

- **Costado por debajo de la Línea de Francobordo**

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

- **Cubierta de Acomodación**

$$t_{min}(L < 120 m) = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

- **Mamparo Transversal Estanco**

$$t_{min}(L < 120 m) = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

- **Varengas del Doble Fondo**

(Pt. B, Ch. 7, Sec. 3 – [2.1.2])

$$t_{min} = 1,4 \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot k^{\frac{1}{6}}$$

Table 6 : Minimum net thicknesses of webs of double bottom primary supporting members

Primary supporting member	Minimum net thickness, in mm	
	Area within 0,4L amidships	Area outside 0,4L amidships
Centre girder	$2,0 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$	$1,7 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$
Side girders	$1,4 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$	$1,4 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$
Floors	$1,5 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$	$1,5 L^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{6}}$
Girder bounding a duct keel (1)	$1,5 + 0,8 L^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{4}}$	$1,5 + 0,8 L^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{4}}$
Margin plate	$L^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{4}}$	$0,9 L^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{4}}$
(1) The minimum net thickness is to be taken not less than that required for the centre girder.		

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

Plating	Minimum net thickness
Keel	$3,8 + 0,040 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
Bottom	
• longitudinal framing	$1,9 + 0,032 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• transverse framing	$2,8 + 0,032 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
Inner bottom	
• outside the engine room (1)	$1,9 + 0,024 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• engine room	$3,0 + 0,024 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
Side	
• below freeboard deck (1)	$2,1 + 0,031 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• between freeboard deck and strength deck	$2,1 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
Inner side	
• L < 120 m	$1,7 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$3,6 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
Weather strength deck and trunk deck, if any (2)	
• area within 0,4 L amidships - longitudinal framing	$1,6 + 0,032 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
- transverse framing	$1,6 + 0,040 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• area outside 0,4 L amidships (3)	
• between hatchways	$2,1 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• at fore and aft part	$2,1 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
Cargo deck	
• general	$8 s k^{\frac{1}{2}}$
• wheeled load only	4,5
Accommodation deck	
• L < 120 m	$1,3 + 0,004 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$2,1 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
Platform in engine room	
• L < 120 m	$1,7 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$3,6 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
Transv. watertight bulkhead (4)	
• L < 120 m	$1,3 + 0,004 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$2,1 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
Longitud. watertight bulkhead (4)	
• L < 120 m	$1,7 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$3,6 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
Tank and wash bulkheads (4)	
• L < 120 m	$1,7 + 0,013 L k^{\frac{1}{2}} + 4,5 s$
• L ≥ 120 m	$3,6 + 2,20 k^{\frac{1}{2}} + s$
(1) Not applicable to ships with one of the service notations passenger ship and ro-ro passenger ship . For such ships, refer to the applicable requirements of Part D.	
(2) Not applicable to ships with one of the following service notations (for such ships, refer to the applicable requirements of Part D):	
• ro-ro cargo ship or PCT carrier	
• liquefied gas carrier or LNG bunkering ship	
• passenger ship	
• ro-ro passenger ship .	
(3) The minimum net thickness is to be obtained by linearly interpolating between that required for the area within 0,4 L amidships and that at the fore and aft part.	
(4) Not applicable to ships with the service notation liquefied gas carrier or LNG bunkering ship .	

A continuación, se definen algunos de los parámetros que han sido empleados a lo largo de este cuaderno, de manera que, aquellos que ya han sido justificados anteriormente, sólo aparecerán de forma numérica a lo largo de este apartado.

t = espesor de la chapa, en mm.

s = longitud, en m, del lado corto del panel.

k = factor del material. Se toma para un acero A-B-D-E, $k = 1$.

l = longitud, en m, del lado largo del panel.

l_B = eslora del tanque, en m.

L_1 = eslora de escantillonado, en m, no mayor de 200 m.

h_{TD} = altura de entrepuente. Se toma 2,8 m.

C_a = razón de aspecto del panel.

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

C_r = coeficiente de curvatura del panel, que para chapas planas es 1.

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} \quad (\text{mayor que } 0,5)$$

r = radio de curvatura, en m.

C_{FV} , C_{FH} , $C_{F\Omega}$ = factores de combinación. Se toman 1, 0 y 0 respectivamente para condiciones "a" y "b". (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 – [3.2]).

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

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

C_{FT} = factor de reducción. Para operaciones normales se toma igual a 1. (Pt. B, Ch. 7, Sec. 1 – [3.2]).

F_D = coeficiente de incremento de arrufo (Pt. B, Ch. 5, Sec. 2 – [4.2]).

Table 4 : Coefficient F_D

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

N = coordenada z , en m, del centro de gravedad de la sección transversal constituida por estructuras que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque viga. Se tomará $N = 4,10$ m (50% del puntal a la cubierta principal).

σ_1 = tensión normal inducida por los momentos verticales, en N/mm^2 (Pt. B, Ch. 6, Sec. 2 – [3.1]).

$$\sigma_1(\text{sección transversal}) = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{Z_A} \cdot 10^3$$

$\sigma_{x,ALL}$ = tensión normal inducida admisible, en N/mm^2 (Pt. B, Ch. 6, Sec. 2 – [3.1]).

$$\sigma_1 < \sigma_{1,ALL} = \frac{175}{k} N/mm^2 = 175 N/mm^2 \quad (0,3 < \frac{x}{L} < 0,7)$$

τ_1 = tensión cortante inducida por los momentos verticales, en N/mm^2 .

$\tau_{1,ALL}$ = tensión cortante admisible, en N/mm^2 (Pt. B, Ch. 6, Sec. 2 – [3.2]).

$$\tau_1 < \tau_{1,ALL} = \frac{110}{k} N/mm^2 = 110 N/mm^2$$

Las tensiones normales soportadas por chapas del buque, consideradas para la comprobación de la resistencia de la chapa, en N/mm^2 , se tomarán a partir de la siguiente expresión (Pt. B, Ch. 7, Sec 1 – [3.2])

σ_{x1} = tensión normal primaria de las planchas que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque viga, en N/mm^2 . $\sigma_{x1} = 0$ para chapas que no contribuyen a la resistencia longitudinal del buque viga.

$$\sigma_{x1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

σ_{S1} = tensión normal sobre los refuerzos del buque en aguas tranquilas, en N/mm^2 .

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{M_{SW_S} \text{ ó } M_{SW_H}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3}$$

σ_{WV1} = tensión normal sobre los refuerzos del buque debido a las olas, en N/mm^2 .

$$\sigma_{WV1} = \left| \frac{0,625 \cdot F_D \cdot (M_{WVS} \text{ ó } M_{WVH})}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3}$$

σ_{WH1}

$$\sigma_{WH1} = \left| \frac{M_{WH}}{I_z} \cdot y \right| \cdot 10^{-3}$$

Table 3 : Hull girder normal stresses

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

Se aplicarán los momentos en quebranto para las estructuras localizadas por encima del eje neutro de la cubierta maestra, y los momentos en arrufo para las estructuras localizadas por debajo del mismo.

τ_1 = tensión cortante primaria del inducida en los refuerzos del buque, en N/mm². Para fondo, doble fondo y cubiertas se toma 0 N/mm².

$$\tau_1 = \gamma_{S1} \cdot \tau_{S1} + 0,625 \cdot C_{FV} \cdot \gamma_{W1} \cdot \tau_{W1}$$

τ_{S1} = valor absoluto de la tensión cortante, en N/mm², inducida en aguas tranquilas en los refuerzos del buque de la sección considerada.

τ_{W1} = valor absoluto de la tensión cortante, en N/mm², inducida por las olas en los refuerzos del buque de la sección considerada.

Table 5 : Hull girder shear stresses

Structural element	τ_{S1}, τ_{W1} in N/mm ²
Bottom, bilge, inner bottom and decks (excluding possible longitudinal sloping plates)	0
Side, inner side and longitudinal bulkheads (including possible longitudinal sloping plates):	
• $0 \leq z \leq 0,25 D$	$\tau_0 \left(0,5 + 2 \frac{z}{D} \right)$
• $0,25 D < z \leq 0,75 D$	τ_0
• $0,75 D < z \leq D$	$\tau_0 \left(2,5 - 2 \frac{z}{D} \right)$
Note 1: $\tau_0 = \frac{47}{k} \left(1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right)$ N/mm ²	

$$\tau_0 = \frac{47}{k} \cdot \left(1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right) = \frac{47}{1} \cdot \left(1 - \frac{6,3}{\sqrt{93,80}} \right) = 16,427 \text{ N/mm}^2$$

8.1. CHAPA DEL FONDO

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

Tipo de Estructura = Transversal

$$z = 0 \text{ m}$$

$$s = 0,650 \text{ m}$$

$$l = 3,7 \text{ m (separación máxima entre 2 vagras)}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (0 - 7,70)]^2} \\ = 0,500 \text{ m/s}^2$$

Se incluye, además, una tabla con los parámetros de los tanques que afectan a los cálculos:

Tanques Gasoil		
ρ_L	0,840	Tn/m ³
z_L	6,850	m
z_{TOP}	1,2	m
z_{AP}	12,5	m
p_{PV}	0,7	bar
$l_{B(\text{Tanque DO})}$	7,80	m

8.1.1. Cálculo de Presiones

Esta zona está sometida a las cargas de la mar, de los tanques de combustible del doble fondo.

- Presión Externa inducida por Aguas Tranquilas**

Para las planchas del *fondo* por debajo de la línea de flotación ($z \leq T$):

$$p_s = \rho \cdot g \cdot (T_1 - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,70 - 0) = 77,425 \text{ kN/m}^2$$

- Presión Externa inducida por Olas**

Para las planchas del *fondo* por debajo de la línea de flotación, la presión por olas debida al mar se estima mediante la siguiente fórmula:

$$p_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T_1 - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (1 \cdot 4,07) \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (7,70 - 0)}{93,80}} = 24,433 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

A lo largo de la *chapa de fondo* se distribuyen los tanques de combustible (diésel) del doble fondo. Se considera la situación más desfavorable aquella en la que dichos tanques de combustible se encuentran llenos.

- **Tanques de Combustible**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (6,85 - 0) = 56,447 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (1,20 - 0) + 100 \cdot 0,7 \\ = 79,888 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 93,80}{420 - 93,80} \right) = 1,895 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de combustible del doble fondo.

- **Tanques de Combustible**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$

$$p_W = 0,84 \cdot (0,5 \cdot 0,500 \cdot 7,80 + 6,102 \cdot (1,2 - 0)) = 7,789 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que se seleccionan las presiones más desfavorables:

$$p_S = 79,888 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 24,433 \text{ kN/m}^2$$

8.1.2. Escantillonado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor de la *chapa del fondo*, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 79,888 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 24,433 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

Se calculan los parámetros requeridos para los cálculos:

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{S}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{S}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,65}{3,7}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,65}{3,7} = 1,09$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{S}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,65}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{M_{SWs}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} = \left| \frac{105.599,31}{10,00} \cdot (0 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 43,296 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{WV1} &= \left| \frac{0,25 \cdot F_D \cdot M_{WVs}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} \\ &= \left| \frac{0,25 \cdot 1,115 \cdot 178.706,52}{10,00} \cdot (0 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 51,081 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{X1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

$$\sigma_{X1} = 1 \cdot 43,296 + 1,15 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 51,081 + 0) = 102,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \lambda_T &= \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_y}\right)^2} - 0,89 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_y} = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{0}{235}\right)^2} - 0,89 \cdot 1,02 \cdot \frac{102,04}{235} \\ &= 0,605 \end{aligned}$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min} = 2,8 + 0,032 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 2,8 + 0,032 \cdot 93,8 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,650 = 8,726 \text{ mm}$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

$$t = 17,2 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_W}{\lambda_T \cdot R_y}}$$
$$t = 17,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,20 \cdot 1,02 \cdot \frac{1,0 \cdot 79,888 + 1,20 \cdot 24,433}{0,605 \cdot 235}} = 10,84 \text{ mm}$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{contacto con el mar}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{tanque diésel}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 12,00 \text{ mm}}$$

8.2. CHAPA DEL PANTOQUE

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

Tipo de Estructura = Transversal

$$z = 1,2 \text{ m}$$

$$s = s_b = 0,650 \text{ m}$$

$l = 3,8 \text{ m}$ (distancia desde vagra lateral al punto más lateral de la chapa pantoque)

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (1,2 - 7,70)]^2} \\ = 0,585 \text{ m/s}^2$$

Se incluye, además, una tabla con los parámetros requeridos de los tanques correspondientes:

Tanques Gasoil		
ρ_L	0,840	Tn/m ³
z_L	6,850	m
z_{TOP}	1,2	m
z_{AP}	12,5	m
p_{PV}	0,7	bar
l_B (Tanque DO)	7,80	m

8.2.1. Cálculo de Presiones

Esta zona está sometida a las cargas de la mar, de los tanques de combustible del doble fondo.

- **Presión Externa inducida por Aguas Tranquilas**

Para las planchas del *fondo* por debajo de la línea de flotación ($z \leq T$):

$$p_s = \rho \cdot g \cdot (T_1 - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,70 - 1,2) = 65,359 \text{ kN/m}^2$$

- **Presión Externa inducida por Olas**

Para las planchas del *fondo* por debajo de la línea de flotación, la presión por olas debida al mar se estima mediante la siguiente fórmula:

$$p_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T_1 - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (1 \cdot 4,07) \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (7,70 - 1,2)}{93,80}} = 26,479 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

A lo largo de la chapa de fondo se distribuyen los tanques de combustible (diésel) del doble fondo. Se considera la situación más desfavorable aquella en la que dichos tanques de combustible se encuentran llenos.

- **Tanques de Combustible**

$$p_s = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (6,85 - 1,2) = 46,558 \text{ kN/m}^2$$
$$p_s = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (1,20 - 1,2) + 100 \cdot 0,7$$
$$= 70,000 \text{ kN/m}^2$$
$$p_s = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 1,895 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de combustible del doble fondo.

- **Tanques de Combustible**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$
$$p_W = 0,84 \cdot (0,5 \cdot 0,585 \cdot 7,80 + 6,102 \cdot (1,2 - 1,2)) = 1,919 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que se seleccionan las presiones más desfavorables

$$p_s = 70,000 \text{ kN/m}^2$$
$$p_W = 26,479 \text{ kN/m}^2$$

8.2.2. Escantillado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor de la *chapa de pantoque*, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 70,000 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 26,479 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

A partir del buque base “Jocay”, se obtiene el radio de curvatura del pantoque, cuyo resultado es el que se muestra a continuación:

$$R = 2,5 \text{ m}$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min} = 2,8 + 0,032 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 8,726 \text{ mm}$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

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

$$t = 0,7 \cdot (1,2 \cdot 1,02 \cdot (1 \cdot 70,00 + 1,2 \cdot 26,47) \cdot 0,65)^{0,4} \cdot 2,5^{0,6} \cdot 1^{\frac{1}{2}} = 7,00 \text{ mm}$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{contacto con el mar}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{tanque diésel}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 10,00 \text{ mm}}$$

8.3. CHAPA DEL COSTADO

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

Tipo de Estructura = Longitudinal

$$z = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 0,575 \text{ m}$$

$$l = 3,9 \text{ m (separación de anillos)}$$

$$l_B(\text{tanques carga}) = 3,90 \text{ m}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (1,2 - 7,70)]^2} \\ = 0,585 \text{ m/s}^2$$

Se incluye, además, una tabla con los parámetros requeridos de los tanques:

Tanques Carga		
ρ_L (atún)	0,720	Tn/m ³
z_L	10,35	m
z_{TOP}	8,20	m
z_{AP}	12,50	m
p_{PV}	0,7	bar
l_B (cuba)	3,9	m

8.3.1. Cálculo de Presiones

Esta zona está sometida a las cargas de la mar, de los tanques de combustible del doble fondo.

- **Presión Externa inducida por Aguas Tranquilas**

Para las planchas *costado* por debajo de la línea de flotación ($z \leq T$):

$$p_s = \rho \cdot g \cdot (T_1 - z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,70 - 1,2) = 65,359 \text{ kN/m}^2$$

- **Presión Externa inducida por Olas**

Para las planchas del *forro* por debajo de la línea de flotación, la presión por olas debida al mar se estima mediante la siguiente fórmula:

$$p_w = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (T_1 - z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (1 \cdot 4,07) \cdot e^{\frac{-2 \cdot \pi \cdot (7,70 - 1,2)}{93,80}} = 26,479 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

A lo largo de la chapa del *costado* se distribuyen los tanques almacenamiento y congelación de las capturas. Se considera la situación más desfavorable aquella en la que dichos tanques de combustible se encuentran llenos.

- **Tanques de Carga**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (10,35 - 1,2) = 64,628 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (8,20 - 1,2) + 100 \cdot 0,7 \\ = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 1,624 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de carga.

- **Tanques de Carga**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$

$$p_W = 0,72 \cdot (0,5 \cdot 0,585 \cdot 3,90 + 6,102 \cdot (8,2 - 1,2)) = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que se seleccionan las presiones más desfavorables

$$p_S = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

8.3.2. Escantillonado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor de la *chapa del costado*, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,575}{3,9}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,575}{3,9} = 1,11$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,575}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{M_{SWs}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} = \left| \frac{105.599,31}{10,00} \cdot (1,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 30,624 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{WV1} &= \left| \frac{0,625 \cdot F_D \cdot (M_{WVs})}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} \\ &= \left| \frac{0,625 \cdot 1,115 \cdot 178.706,52}{10,00} \cdot (1,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 36,130 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{X1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

$$\sigma_{X1} = 1 \cdot 30,624 + 1,15 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 36,130 + 0) = 72,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \lambda_L &= \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_y}\right)^2 - 0,95 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}\right)^2 - 0,225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_y}} \\ &= \sqrt{1 - 3 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{28,23}{235}\right)^2 - 0,95 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{72,17}{235}\right)^2 - 0,225 \cdot 1,02 \cdot \frac{72,45}{235}} \\ &= 0,857 \end{aligned}$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min} = 2,1 + 0,031 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 2,1 + 0,031 \cdot 93,80 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,575 = 7,60 \text{ mm}$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

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

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,575 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 119,442 + 1,2 \cdot 31,575}{0,857 \cdot 235}} = 8,37 \text{ mm}$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{contacto con el mar}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{tanques de carga}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 10,00 \text{ mm}}$$

8.4. CHAPA DEL DOBLE FONDO

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

Tipo de Estructura = Transversal

$$z = 1,20 \text{ m}$$

$$s = 0,650 \text{ m}$$

$$l = 3,7 \text{ m (separación entre las dos vagras)}$$

$$l_B(\text{tanques DF}) = 7,80 \text{ m}$$

$$l_B(\text{tanques carga}) = 3,90 \text{ m}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (1,2 - 7,70)]^2} \\ = 0,585 \text{ m/s}^2$$

Se incluyen, además, las tablas con los parámetros requeridos de los tanques:

Tanques Gasoil		
ρ_L	0,840	Tn/m ³
z_L	6,850	m
z_{TOP}	1,2	m
z_{AP}	12,5	m
p_{PV}	0,7	bar
$l_B(\text{Tanque DO})$	7,80	m

Tanques Carga		
ρ_L	0,72	Tn/m ³
z_L	10,35	m
z_{TOP}	8,20	m
z_{AP}	12,50	m
p_{PV}	0,7	bar

8.4.1. Cálculo de Presiones

Esta zona está sometida a las cargas de la mar, de los tanques de combustible del doble fondo.

- **Presión Externa inducida por Aguas Tranquilas y por Olas**

Para las planchas del *doble fondo*, por ser una cubierta no expuesta, la presión del mar es nula.

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

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

La chapa del *doble fondo* recibe las cargas tanto de las cubas de almacenamiento y congelación de la pesca como de los tanques de combustible del doble fondo, considerándose la situación más desfavorable aquella en la que estos tanques de carga se encuentran llenos.

○ **Tanques de Combustible**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (6,85 - 1,2) = 46,558 \text{ kN/m}^2$$
$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (1,2 - 1,2) + 100 \cdot 0,7$$
$$= 70,000 \text{ kN/m}^2$$
$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 1,895 \text{ kN/m}^2$$

○ **Tanques de Carga**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (10,35 - 1,2) = 64,628 \text{ kN/m}^2$$
$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (8,20 - 1,2) + 100 \cdot 0,7$$
$$= 119,442 \text{ kN/m}^2$$
$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 1,624 \text{ kN/m}^2$$

● **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de carga y para los de combustible del doble fondo.

○ **Tanques de Combustible**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$
$$p_W = 0,84 \cdot (0,5 \cdot 0,585 \cdot 7,80 + 6,102 \cdot (1,2 - 1,2)) = 1,919 \text{ kN/m}^2$$

○ **Tanques de Carga**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$
$$p_W = 0,72 \cdot (0,5 \cdot 0,585 \cdot 3,90 + 6,102 \cdot (8,2 - 1,2)) = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que se seleccionan las presiones más desfavorables:

$$p_S = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

8.4.2. Escantillonado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor del *doble fondo*, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,65}{3,7}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,65}{3,7} = 1,09$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,65}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{M_{SW_S}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} = \left| \frac{105.599,31}{10,00} \cdot (1,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 30,624 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{WV1} &= \left| \frac{0,625 \cdot F_D \cdot (M_{WV_S})}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} \\ &= \left| \frac{0,625 \cdot 1,115 \cdot 178.706,52}{10,00} \cdot (1,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 36,130 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{X1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

$$\sigma_{X1} = 1 \cdot 30,624 + 1,15 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 36,130 + 0) = 72,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_T = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_y}\right)^2} - 0,89 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{X1}}{R_y} = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{0}{235}\right)^2} - 0,89 \cdot 1,02 \cdot \frac{72,17}{235} = 0,713$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min} = 1,9 + 0,024 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 1,9 + 0,024 \cdot 93,80 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,65 = 7,07 \text{ mm}$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

$$t = 17,2 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{\lambda_T \cdot R_y}}$$

$$t = 17,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 119,442 + 1,2 \cdot 31,575}{0,713 \cdot 235}} = 11,98 \text{ mm}$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{contacto diésel}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{tanques de carga}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 13,00 \text{ mm}}$$

8.5. CHAPA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

Tipo de Estructura = Longitudinal

$$z = 8,2 \text{ m}$$

$$s = 0,550 \text{ m}$$

$$l = 3,9 \text{ m}$$

$$l_B(\text{tanques carga}) = 3,90 \text{ m}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (8,2 - 7,70)]^2} \\ = 2,137 \text{ m/s}^2$$

Se incluye, además, una tabla con los parámetros requeridos de los tanques:

Tanques Carga		
ρ_L (atún)	0,720	Tn/m ³
z_L	10,35	m
z_{TOP}	8,20	m
z_{AP}	12,50	m
p_{PV}	0,7	bar
l_B (cuba)	3,9	m

8.5.1. Cálculo de Presiones

Para el cálculo de las presiones en la cubierta de francobordo, en este caso, la cubierta principal, se deben analizar tanto las presiones generadas por los tanques de carga en aguas tranquilas y con oleaje, como la presión que generan las cargas locales sobre la cubierta. En este último caso se tendrá en cuenta el peso de las tapas de las cubas y la cinta transportadora.

- **Presión Externa Inducida en Aguas Tranquilas y por Olas**

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

- **Presiones Internas debidas a Cargas repartidas en Cubierta**

Las cargas locales instaladas en la *cubierta principal*, como son la cinta transportadora y las tapas de cierre de las cubas de carga, van a estar sometidas a los efectos del movimiento del buque, por lo que se van a generar presiones sobre la estructura que hay que estudiar.

- **Presiones en Aguas Tranquilas**

$$p_S = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones por olas**

$$p_{WZ} = p_S \cdot \frac{a_{Z1}}{g} = 5,00 \cdot \frac{6,102}{9,81} = 3,11 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

- **Tanques de Carga**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (10,35 - 8,2) = 15,186 \text{ kN/m}^2$$
$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (8,2 - 8,2) + 100 \cdot 0,7$$
$$= 70,000 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 1,624 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

- **Tanques de Carga**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$
$$p_W = 0,72 \cdot (0,5 \cdot 2,137 \cdot 3,90 + 6,102 \cdot (8,2 - 8,2)) = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que se seleccionan las presiones más desfavorables

$$p_S = 70,000 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 3,11 \text{ kN/m}^2$$

8.5.2. Escantillonado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 70,000 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 3,11 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,575}{3,9}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,575}{3,9} = 1,11$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,575}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{M_{SWH}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} = \left| \frac{139.692,00}{10,00} \cdot (8,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 57,275 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{WV1} &= \left| \frac{0,25 \cdot F_D \cdot M_{WVH}}{I_y} \cdot (z - N) \right| \cdot 10^{-3} \\ &= \left| \frac{0,25 \cdot 1,115 \cdot 144.610,79}{10,00} \cdot (8,2 - 4,1) \right| \cdot 10^{-3} = 37,057 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{X1} = \gamma_{S1} \cdot \sigma_{S1} + \gamma_{W1} \cdot C_{FT} \cdot (C_{FV} \cdot \sigma_{WV1} + C_{FH} \cdot \sigma_{WH1} + C_{F\Omega} \cdot \sigma_{\Omega})$$

$$\sigma_{X1} = 1 \cdot 57,275 + 1,15 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 37,057 + 0) = 99,89 \text{ N/mm}^2$$

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

$$= \sqrt{1 - 3 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{0}{235}\right)^2 - 0,95 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{99,89}{235}\right)^2} - 0,225 \cdot 1,02 \cdot \frac{99,89}{235} = 0,808$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min} = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 1,3 + 0,004 \cdot 93,80 \cdot 1 + 4,5 \cdot 0,550 = 4,15 \text{ mm}$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

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

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,550 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 70,00 + 1,2 \cdot 3,11}{0,808 \cdot 235}} = 5,64 \text{ mm}$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{tanques de carga}) = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{otros}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 7,00 \text{ mm}}$$

8.6. CHAPA DEL MAMPARO ESTANCO

Se definen los siguientes parámetros del elemento:

$$z = 1,20 \text{ m}$$

$$s = 0,550 \text{ m (separación refuerzos verticales)}$$

$$l = 7,00 \text{ m (altura del tanque)}$$

$$l_B = 3,90 \text{ m}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,50^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (1,2 - 7,70)]^2} \\ = 0,585$$

Se incluye, además, una tabla con los parámetros de los tanques de carga:

Tanques Carga		
ρ_L (atún)	0,720	Tn/m ³
z_L	10,35	m
z_{TOP}	8,20	m
z_{AP}	12,50	m
p_{PV}	0,7	bar
l_B (cuba)	3,9	m

8.6.1. Cálculo de Presiones

Sobre el mamparo estanco actuarán las fuerzas laterales provocadas por los dos tanques de carga que separa. Se trata de una estructura que no contribuye a la resistencia longitudinal del buque viga y, por tanto, no intervendrán las tensiones normales (σ_x) y cortantes (τ_x) que actuaban en los casos anteriores sobre el lado corto de la chapa.

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

A lo largo del *mamparo estanco* se distribuyen los tanques de carga. Se considera la situación más desfavorable aquella en la que dichos tanques de carga se encuentran llenos.

- **Tanques de Carga**

$$p_s = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (10,35 - 0) = 64,628 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,72 \cdot 9,81 \cdot (8,20 - 0) + 100 \cdot 0,7$$

$$= 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 0,72 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 93,80}{420 - 93,80} \right) = 1,625 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de carga.

- **Tanques de Carga**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$

$$p_W = 0,72 \cdot (0,5 \cdot 0,585 \cdot 3,9 + 6,102 \cdot (8,2 - 1,2)) = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

8.6.2. Escantillonado de Chapa

- **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

- **Cálculo de Parámetros**

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,550}{3,9}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,550}{3,9} = 1,15$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,550}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

- **Espesor Mínimo Neto Requerido**

$$t_{min}(L < 120 m) = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s = 1,3 + 0,004 \cdot 93,80 \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,55 \\ = 4,15 mm$$

- **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

$$t = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{R_y}}$$

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,550 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 119,442 + 1,2 \cdot 31,575}{235}} = 5,98 mm$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{tanques de carga}) = 2 \cdot 0,5 = 1,00 mm$$

$$\mathbf{t = 7,00 mm}$$

9. DIMENSIONAMIENTO DE LOS REFUERZOS SECUNDARIOS

Se calcularán los parámetros que definen los refuerzos secundarios (*Pt. B, Ch. 7, Sec. 2 "Ordinary Stiffeners"*).

Como ya se ha indicado, las varengas constituyen el refuerzo secundario del doble fondo y se dimensionan de igual modo que una chapa que no contribuye a la resistencia longitudinal y que está comprendida entre el fondo y el doble fondo.

En la zona destinada al almacenamiento de la carga, por tratarse de estructura longitudinal, los refuerzos secundarios son los siguientes:

- Esloras de la Cubierta Principal.
- Esloras del Costado.

Según el reglamento (*Pt. B, Ch. 7, Sec. 2 – [1.3]*), a menos que se especifique lo contrario, la presión lateral se calcula en el centro del refuerzo considerado.

(*Pt. B, Ch. 7, Sec. 2 – [3.7]*) para refuerzos secundarios *longitudinales y transversales* sujetos a presiones laterales, tanto el módulo, en cm³, como el área de la sección, en cm², no han de ser menores que:

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{m \cdot (R_y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{X1})} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$A_{Sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l$$

Table 5 : Coefficients β_b and β_s

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

m = coeficiente de límite. Se toma $m = 12$ para refuerzos empotrados a ambos lados.

9.1. VARENGAS DEL DOBLE FONDO

9.1.1. Cálculo de Presiones

- **Parámetros del Elemento**

$$z = 0 \text{ m}$$

$$s \text{ (separación entre pletinas)} = 1,1 \text{ m}$$

$$l \text{ (altura doble fondo)} = 1,2 \text{ m}$$

$$l_b = 7,8 \text{ m}$$

$$k = 1$$

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

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p \cdot g + \alpha_p \cdot (z - T_1)]^2} = \sqrt{0,50^2 + [0,199 \cdot 9,81 + 0,253 \cdot (0 - 7,70)]^2} \\ = 0,50 \text{ m/s}^2$$

- **Presiones de Diseño**

Las presiones a las que están sometidas las varengas se calculan aplicando el mismo procedimiento que para el mamparo estanco (no contribuye a la resistencia longitudinal).

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Aguas Tranquilas**

A lo largo de las *varengas* se distribuyen los tanques de combustible del doble fondo. Se considera la situación más desfavorable aquella en la que dichos tanques se encuentran llenos.

- **Tanques de Carga**

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (6,85 - 0) = 56,447 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_{TOP} - z) + 100 \cdot p_{PV} = 0,84 \cdot 9,81 \cdot (1,2 - 0) + 100 \cdot 0,7 = 79,888 \text{ kN/m}^2$$

$$p_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 0,84 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 93,80}{420 - 93,80} \right) = 1,896 \text{ kN/m}^2$$

- **Presiones Internas inducidas en Tanques por Fuerzas Inerciales (“b”)**

Como se ha visto, el reglamento Bureau Veritas establece una formulación para el estudio de la condición de carga “b”, que en este caso se aplicará para los tanques de carga.

▪ **Tanques de Carga**

$$p_W = \rho_L \cdot (0,5 \cdot a_{X1} \cdot l_B + a_{Z1} \cdot (z_{TOP} - z))$$

$$p_W = 0,72 \cdot (0,5 \cdot 0,500 \cdot 7,80 + 6,102 \cdot (1,2 - 0)) = 7,789 \text{ kN/m}^2$$

9.1.2. Escantillonado de Chapa

• **Presiones de Diseño**

Para los cálculos del espesor, se seleccionan las presiones más desfavorables que van a afectar a la chapa de la estructura.

De este modo se tienen:

$$p_S = 79,888 \text{ kN/m}^2$$

$$p_W = 7,789 \text{ kN/m}^2$$

• **Cálculo de Parámetros**

$$C_a = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l} = 1,21 \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{1,1}{1,2}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{1,1}{1,2} = 1,11$$

$$C_a = 1$$

$$C_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{1,1}{r} = 1 \text{ (chapa plana)}$$

• **Espesor Mínimo Neto Requerido**

Según el reglamento (*Pt. B, Ch. 7, Sec. 3 – [2.1.2]*), el espesor mínimo para los refuerzos transversales del doble fondo no deberá ser menor que:

$$t_{min} = 1,5 \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot k^{\frac{1}{6}} = 1,5 \cdot 93,80^{\frac{1}{3}} \cdot 1^{\frac{1}{6}} = 6,815 \text{ mm}$$

• **Espesor de la Chapa de Fondo según la presión a la que está sometida**

$$t = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_S + \gamma_{W2} \cdot p_W}{R_y}}$$

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 79,888 + 1,2 \cdot 7,789}{235}} = 11,17$$

- **Margen de Corrosión aplicado**

$$t_k(\text{diésel}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$t_k(\text{diésel}) = 0,0 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t = 12,00 \text{ mm}}$$

9.2. LONGITUDINALES DEL COSTADO

- **Parámetros del Elemento**

$$z = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 0,575 \text{ m}$$

$$l = 3,9 \text{ m}$$

$$\beta_b = 1$$

$$\beta_s = 1$$

$$m = 12$$

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

$$\sigma_{X1} = 72,17 \text{ N/mm}^2$$

- **Presiones de Diseño**

$$p_s = 119,442 \text{ kN/m}^2$$

$$p_w = 31,575 \text{ kN/m}^2$$

9.2.1. Cálculo del Módulo Resistente

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{m \cdot (R_y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{X1})} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = 1,2 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot 119,442 + 1,2 \cdot 31,575}{12 \cdot (235 - 1,2 \cdot 1,02 \cdot 72,17)} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot 3,9}\right) \cdot 0,575 \cdot 3,9^2 \cdot 10^3$$

$$w = 711,60 \text{ cm}^3$$

9.2.2. Cálculo del Área de la Sección

$$A_{Sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_W}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l$$

$$A_{Sh} = 10 \cdot 1,2 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot 119,442 + 1,2 \cdot 31,575}{235} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot 3,9}\right) \cdot 0,575 \cdot 3,9$$

$$A_{Sh} = 13,66 \text{ cm}^2$$

9.2.3. Selección del Refuerzo (Escantillonado)

Utilizando el portuario de materiales, se seleccionan para todos los refuerzos longitudinales del costado un perfil en L de lados iguales (con chapa asociada de 575 mm) 200x200x24 que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado.

Se considera en este caso que los perfiles sirven de apoyo para los aisladores Elecqui que soportan la cuba de carga.

A continuación, se muestran los cálculos para el cálculo del módulo de dicho refuerzo:

	a (cm)	b (cm)	A (cm ²)	y _g (cm)	A·y _g (cm ³)	A·(Y-y _g) ²	I _o (cm ⁴)	I _o +A·(Y-y _g) ²
Chapa	57,5	1,00	57,50	20,50	1.178,75	4.624,68	275,52	4.900,20
Refuerzo L	20,0	2,4	90,60	5,84	529,10	2.935,09	737,00	3.672,09
Total			148,10		1.707,85			8.572,30

Área	148,10	cm ²
Y	11,53	cm
I_{EN}	8.572,30	cm ⁴
Módulo Requerido	711,60	cm ³
Módulo Refuerzo (I_{EN}/Y)	743,36	cm ³

Por lo que se comprueba que el refuerzo cumple con el módulo mínimo requerido.

9.3. ESLORAS DE LA CUBIERTA PRINCIPAL

- **Parámetros del Elemento**

$$z = 8,2 \text{ m}$$

$$s = 0,550 \text{ m}$$

$$l = 8,45 \text{ m}$$

$$\beta_b = 1$$

$$\beta_s = 1$$

$$m = 12$$

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

$$\sigma_{x1} = 100,20 \text{ N/mm}^2$$

- **Presiones de Diseño**

$$p_s = 70,000 \text{ kN/m}^2$$

$$p_w = 3,11 \text{ kN/m}^2$$

9.3.1. Cálculo del Módulo Resistente

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{m \cdot (R_y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{x1})} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$w = 1,2 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot 70,00 + 1,2 \cdot 3,11}{12 \cdot (235 - 1,2 \cdot 1,02 \cdot 99,88)} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot 3,9}\right) \cdot 0,550 \cdot 3,9^2 \cdot 10^3$$

$$w = 414,97 \text{ cm}^3$$

9.3.2. Cálculo del Área de la Sección

$$A_{Sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot p_s + \gamma_{W2} \cdot p_w}{R_y} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l$$

$$A_{Sh} = 10 \cdot 1,2 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot 70,00 + 1,2 \cdot}{235} \cdot \left(1 - \frac{2}{2 \cdot 3,9}\right) \cdot 0,550 \cdot 3,9$$

$$A_{Sh} = 6,12 \text{ cm}^2$$

9.3.3. Selección del Refuerzo (Escantillonado)

Utilizando el portuario de materiales, se seleccionan para todos los refuerzos longitudinales de la cubierta principal un **perfil en L de lados iguales** (con chapa asociada de 550 mm) **180x180x16** que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta principal.

A continuación, se muestran los cálculos para el cálculo del módulo de dicho refuerzo:

	a (cm)	b (cm)	A (cm ²)	y _g (cm)	A·y _g (cm ³)	A·(Y-y _g) ²	I _o (cm ⁴)	I _o +A·(Y-y _g) ²
Chapa	55	0,70	38,50	18,35	706,48	2381,27	176,46	2.557,73
Refuerzo L	18	1,6	55,40	5,02	278,11	1654,86	737,00	2.391,86
Total			93,90		984,58			4.949,59

Área	93,90	cm ²
Y	10,49	cm
I_{EN}	4.949,59	cm ⁴
Módulo Requerido	414,98	cm ³
Módulo Refuerzo (I_{EN}/Y)	472,04	cm ³

Por lo que se comprueba que el refuerzo cumple con el módulo mínimo requerido.

10.RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados finales obtenidos del escantillonado de la sección maestra del Buque Proyecto son los que se muestran a continuación.

Elemento	t mín (mm)	t seleccionado (mm)	Material	Tipo de Acero
Fondo	8,727	11,35	Chapa 12 mm	Ac. Naval grado A
Pantoque	8,727	9,20	Chapa 10 mm	Ac. Naval grado A
Doble Fondo	7,076	12,50	Chapa 13 mm	Ac. Naval grado A
Costado	7,595	9,40	Chapa 10 mm	Ac. Naval grado A
Cubierta Principal	4,150	6,15	Chapa 7 mm	Ac. Naval grado A
Mamparo Estanco	4,150	7,00	Chapa 7 mm	Ac. Naval grado A
Varengas Doble Fondo	6,815	11,20	Chapa 12 mm	Ac. Naval grado A
Refuerzos Long. Costado	Perfil 200x200x24			Ac. Naval grado A
Refuerzos Long. Cubierta	Perfil 180x180x16			Ac. Naval grado A

11. COMPROBACIÓN DEL MÓDULO RESISTENTE

El reglamento estima el módulo resistente mínimo, en m^3 , de la sección maestra para buques con un coeficiente de bloque menos o igual a 0,8 a partir de la siguiente expresión (*Pt. B, Ch. 6, Sec. 2 – [4.2]*):

$$Z'_{R,MIN} = n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (CB + 0,7) \cdot k \cdot 10^{-6}$$

$$Z'_{R,MIN} = 1 \cdot 7,789 \cdot 93,80^2 \cdot 18 \cdot (0,617 + 0,7) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = \mathbf{1,625 m^3}$$

Sin embargo, una vez escantillonada la cuaderna maestra, se calculará el verdadero módulo resistente de la sección, el cual debe ser mayor que el módulo resistente mínimo exigido por reglamento.

Para el cálculo del módulo resistente, se van a tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se consideran aquellos elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal del Buque Proyecto 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. En este caso se ha considerado la cubierta superior con el mismo espesor y refuerzos que la cubierta principal.
 - Chapas del forro: fondo, pantoque y costado.
 - Chapa del doble fondo.
 - Chapas de cubierta principal y cubierta superior.
 - Refuerzos longitudinales: varengas, longitudinales de costado y cubiertas.
- 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 longitudinal.
- Para los elementos no inclinados, como son las planchas de las cubiertas, doble fondo y costado por encima de la cubierta de francobordo, se definen sus dimensiones en sentido vertical (a) y horizontal (b) y la altura de su centro de gravedad respecto a la línea base. La altura equivalente de dichos refuerzos será igual a su dimensión en sentido vertical. En el caso del costado se considera su dimensión vertical (b) igual a la distancia entre la cubierta y el final del pantoque.

- En el caso del pantoque (55° y 2,5 m de radio de curvatura), se tendrá en cuenta su estructura curvada, por lo que se harán los siguientes cálculos para obtener los parámetros requeridos para los cálculos de este apartado:

- Radio (cm)

$$R = R_T + \frac{e}{2} = 250,5 \text{ cm}$$

- Área (cm²)

$$A = R \cdot e \cdot \alpha = 240,46 \text{ cm}^2$$

- Altura equivalente (cm)

$$\begin{aligned} h &= R \cdot \sqrt{6 - \frac{3 \cdot \text{sen}(2 \cdot \alpha)}{\alpha} - \frac{12 \cdot (1 - \cos \alpha)^2}{\alpha^2}} \\ &= 250,5 \cdot \sqrt{6 - \frac{3 \cdot \text{sen}(2 \cdot 0,96)}{0,96} - \frac{12 \cdot (1 - \cos 0,96)^2}{(0,96)^2}} = 208,90 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Centro de gravedad (cm)

$$y_g = R_T \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - R \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\alpha} = 250,5 \cdot \tan\left(\frac{0,96}{2}\right) - 250 \cdot \frac{1 - \cos(0,96)}{0,96} = 29,32 \text{ cm}$$

El proceso de cálculo del módulo resistente es el siguiente:

- Se hace una representación en la que se indican todos los elementos que se van a considerar en los cálculos de resistencia longitudinal.
- Se elabora una tabla con los datos requeridos de cada chapa y refuerzos:
 - Dimensiones o escantillonado de cada elemento.
 - Inercia transversal de cada elemento respecto a su centro de gravedad.
 - Área de la sección transversal de cada elemento (A)
 - Distancias al centro de gravedad de cada elemento a la línea base (y_g)
 - Momento estático respecto a la línea base.
- Se calcula el centro de gravedad de la sección a partir de la siguiente expresión:

$$Y_{EN} = \frac{\sum A_i \cdot y_{gi}}{\sum A_i}$$

- Previa aplicación el Teorema de Steiner, se calcula el cuadrado de la distancia del centro de gravedad de cada elemento al centro de gravedad de la sección maestra.

$$Y_g = (y_g - Y_{EN})^2$$

- Se aplica el Teorema de Steiner para obtener la inercia de la cuaderna maestra respecto al eje neutro.

$$I_{EN} = \sum I_{ox} + \sum (A_i \cdot Y_g^2)$$

- Finalmente se calculan las distancias del fondo y la cubierta resistente al eje neutro para así obtener el módulo resistente del fondo y el módulo resistente de la cubierta.

$$W_{fondo} = \frac{I_{EN}}{Y_{fondo}}$$

$$W_{cubierta} = \frac{I_{EN}}{Y_{cubierta_{superior}} - Y_{EN}}$$

El proceso de cálculo, junto con los resultados obtenidos, se muestran en la siguiente tabla, incluida además en el ANEXO II.

Chapa	Nº	a (cm)	b (cm)	Ángulo(°)	INERCIA (cm4)	Área (cm2)	y _g (cm)	A·y _g (cm3)	(y _g -Y _{EN}) ² (cm ²)	A·(y _g -Y _{EN}) ² (cm ⁴)	STEINER (cm ⁴)
FONDO	2	1,20	470,00		135,36	1128,00	0,00	0,00	400771,46	452070210,86	452070346,22
PANTOQUE (R_T=2,5 m)	2	208,87	240,46	55	365181579,12	480,91	29,32	14100,37	364508,06	175296039,89	540477619,01
DOBLE FONDO	2	1,30	850,00		311,24	2210,00	120,00	265200,00	263235,83	581751187,48	581751498,72
COSTADO BR	1	980,00	1,00		78432666,67	980,00	400,00	392000,00	54319,36	53232969,42	131665636,09
COSTADO ER	1	980,00	1,00		78432666,67	980,00	400,00	392000,00	54319,36	53232969,42	131665636,09
CUBIERTA SUPERIOR	2	0,70	900,00		51,45	1260,00	1100,00	1386000,00	218028,17	274715493,38	274715544,83
CUBIERTA PPAL	2	0,70	900,00		51,45	1260,00	820,00	1033200,00	34944,64	44030251,73	44030303,18
REFUERZOS CUBIERTA PPAL											
Perfil 180x180x16	31				153437,25	2910,90	820,00	2386938,00	34944,64	101720364,89	101873802,15
REFUERZOS CUBIERTA SUP											
Perfil 180x180x16	31				153437,25	2910,90	1100,00	3201990,00	218028,17	634658198,16	634811635,41
REFUERZOS COSTADO											
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	1042,50	308788,50	167636,91	49654052,66	49662624,96
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	985,00	291757,00	123858,15	36686784,06	36693556,36
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	927,50	274725,50	86691,89	25678137,96	25686710,26
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	870,00	257694,00	56138,13	16628114,36	16636686,66
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	762,50	225852,50	16753,38	4962352,52	4970924,82
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	705,00	208821,00	5174,62	1532723,92	1541296,22
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	647,50	191789,50	208,37	61717,82	70290,12
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	590,00	174758,00	1854,61	549334,22	557906,52
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	532,50	157726,50	10113,35	2995573,12	3004145,42
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	475,00	140695,00	24984,59	7400434,52	7409006,82
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	417,50	123663,50	46468,33	13763918,42	13772490,72
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	360,00	106632,00	74564,57	22086024,82	22094597,12
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	302,50	89600,50	109273,31	32366753,72	32375326,02
Perfil 200x200x24	2			93	8572,30	296,20	245,00	72569,00	150594,55	44606105,12	44614677,42
Perfil 200x200x24	2			95	8572,30	296,20	187,50	55537,50	198528,29	58804079,02	58812651,32
					18563,71			11752038,37			3210966712,43

Como se indicaba al principio de este Cuaderno, el reglamento establece unos valores mínimos tanto para la inercia como para los módulos en la cubierta y en el fondo:

$$Z_{R_{fondo}} = \frac{M_{SWS} + M_{WVS}}{\sigma_{1,ALL}} \cdot 10^{-3} = \frac{105.599,31 + 178.706,52}{175} \cdot 10^{-3} = 1,625 \text{ m}^3$$

$$Z_{R_{cubierta}} = \frac{M_{SWH} + M_{WVH}}{\sigma_{1,ALL}} \cdot 10^{-3} = \frac{139.695,00 + 144.610,79}{175} \cdot 10^{-3} = 1,625 \text{ m}^3$$

$$I_{y,min} = 3 \cdot \frac{n}{n_1} \cdot Z'_{R,MIN} \cdot L \cdot 10^{-2}$$

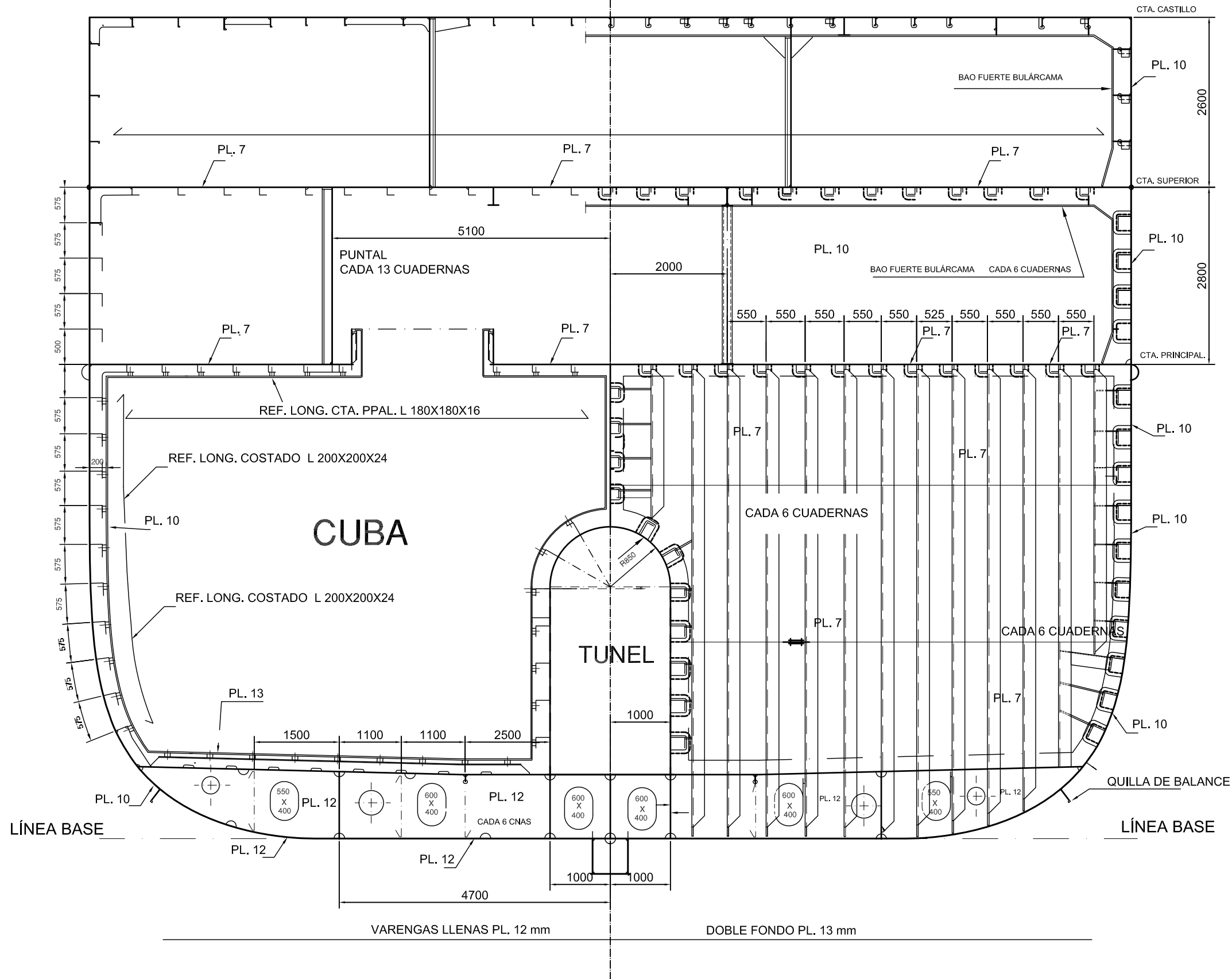
$$I_{y,min} = 3 \cdot \frac{1}{1} \cdot 1,625 \cdot 93,80 \cdot 10^{-2} = 4,572 \text{ m}^4$$

RESULTADOS		Mínimos
Altura del Eje Neutro (m)	6,331	
Distancia del Eje Neutro a Cubierta (m)	4,669	
Distancia del Eje Neutro al Fondo (m)	6,331	
Inercia Respecto Eje Neutro (m ⁴)	32,110	4,572
Módulo en el Fondo (m ³)	5,072	1,625
Módulo en Cubierta (m ³)	6,877	1,625

De manera que, al comparar los resultados, se verifica el cumplimiento de los requisitos de la Sociedad de Clasificación.

ANEXO I_CUADERNA MAESTRA

LC



Elemento	t min (mm)	t seleccionado (mm)	Material	Tipo de Acero
Fondo	8,727	11,35	Chapa 12 mm	Ac. Naval grado A
Pantoque	8,727	9,20	Chapa 10 mm	Ac. Naval grado A
Doble Fondo	7,076	12,50	Chapa 13 mm	Ac. Naval grado A
Costado	7,595	9,40	Chapa 10 mm	Ac. Naval grado A
Cubierta Principal	4,150	6,15	Chapa 7 mm	Ac. Naval grado A
Mamparo Estanco	4,150	7,00	Chapa 7 mm	Ac. Naval grado A
Varengas Doble Fondo	6,815	11,20	Chapa 12 mm	Ac. Naval grado A
Refuerzos Long. Costado		Perfil 200x200x24		Ac. Naval grado A
Refuerzos Long. Cubierta		Perfil 180x180x16		Ac. Naval grado A

DIMENSIONES PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	96,70 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	112,40 m
MANGA	18,00 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL	8,20 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SUPERIOR	11,00 m
CALADO DE TRAZADO	7,50 m
Coefficiente de Bloque.....	0,592
Coefficiente de la Maestra	0,937
Coefficiente Prismático	0,631
DESPLAZAMIENTO	7.917 Tn
VELOCIDAD.....	19 nudos

CLASIFICACION BUREAU VERITAS

- ☒ HULL, ☒ MACH, Fishing vessel, Unrestricted navigation,
- REF - CARGO - QUICKFREEZE, ☒ MON-SHAFT, ☒ INWATERSURVEY



ALUMNA

Eva Luz Villar Chouciño

ATUNERO CONGELADOR 3.700 m³



PLANO CUADERNA MAESTRA

ESCALA 1/75

PROYECTO Nº 18 - 05

FECHA Junio 2.018

FORMATO A3

HUJA 1/1

ANEXO II_COMPROBACIÓN DEL MÓDULO

CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA

Chapa	Nº	a (cm)	b (cm)	Ángulo(°)	INERCIA (cm4)	Área (cm2)	y _g (cm)	A·y _g (cm3)	(y _g -Y _{EN}) ² (cm ²)	A·(y _g -Y _{EN}) ² (cm ⁴)	STEINER (cm ⁴)
FONDO	2	1,20	470,00		135,36	1128,00	0,00	0,00	400771,46	452070210,86	452070346,22
PANTOQUE (R_r=2,5 m)	2	208,87	240,46	55	365181579,12	480,91	29,32	14100,37	364508,06	175296039,89	540477619,01
DOBLE FONDO	2	1,30	850,00		311,24	2210,00	120,00	265200,00	263235,83	581751187,48	581751498,72
COSTADO BR	1	980,00	1,00		78432666,67	980,00	400,00	392000,00	54319,36	53232969,42	131665636,09
COSTADO ER	1	980,00	1,00		78432666,67	980,00	400,00	392000,00	54319,36	53232969,42	131665636,09
CUBIERTA SUPERIOR	2	0,70	900,00		51,45	1260,00	1100,00	1386000,00	218028,17	274715493,38	274715544,83
CUBIERTA PPAL	2	0,70	900,00		51,45	1260,00	820,00	1033200,00	34944,64	44030251,73	44030303,18
REFUERZOS CUBIERTA PPAL											
Perfil 180x180x16	31				153437,25	2910,90	820,00	2386938,00	34944,64	101720364,89	101873802,15
REFUERZOS CUBIERTA SUP											
Perfil 180x180x16	31				153437,25	2910,90	1100,00	3201990,00	218028,17	634658198,16	634811635,41
REFUERZOS COSTADO											
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	1042,50	308788,50	167636,91	49654052,66	49662624,96
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	985,00	291757,00	123858,15	36686784,06	36695356,36
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	927,50	274725,50	86691,89	25678137,96	25686710,26
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	870,00	257694,00	56138,13	16628114,36	16636686,66
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	762,50	225852,50	16753,38	4962352,52	4970924,82
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	705,00	208821,00	5174,62	1532723,92	1541296,22
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	647,50	191789,50	208,37	61717,82	70290,12
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	590,00	174758,00	1854,61	549334,22	557906,52
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	532,50	157726,50	10113,35	2995573,12	3004145,42
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	475,00	140695,00	24984,59	7400434,52	7409006,82
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	417,50	123663,50	46468,33	13763918,42	13772490,72
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	360,00	106632,00	74564,57	22086024,82	22094597,12
Perfil 200x200x24	2			90	8572,30	296,20	302,50	89600,50	109273,31	32366753,72	32375326,02
Perfil 200x200x24	2			93	8572,30	296,20	245,00	72569,00	150594,55	44606105,12	44614677,42
Perfil 200x200x24	2			95	8572,30	296,20	187,50	55537,50	198528,29	58804079,02	58812651,32
						18563,71			11752038,37		
										3210966712,43	