



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2020/21

CUADERNO 8

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA

Carla Fuentes Lorenzo

TUTOR

Marcos Míguez González

FECHA

Septiembre 2021

1 REQUISITOS PREVIOS DE ACTIVIDAD



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.020-2021

PROYECTO NÚMERO 2021-GENO-21

TIPO DE BUQUE: Buque arrastrero congelador 1500m3.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: Bureau Veritas.
Torremolinos, MARPOL.PARA ZONAS POLARES.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Volumen de bodega de 1500 m³. Bodegas y entrepuentes de carga.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 12 nudos en condiciones de servicio, 85% MCR Y 10 % margen de mar. 40 días de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de este tipo de buques.

PROPULSIÓN: Motor diésel acoplado a hélice de paso fijo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 32 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Hélice transversal de proa y los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 02 Febrero 2021

ALUMNA: **D^a Carla Fuentes Lorenzo**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

BUQUE ARRASTRERO CONGELADOR DE 1500m3

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 8

CUADERNA MAESTRA

CONTENIDO

1 REQUISITOS PREVIOS DE ACTIVIDAD.....	3
2 PRESENTACIÓN	8
3 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA CUADERNA MAESTRA.....	9
3.1 Diseño estructural.....	9
3.2 Dimensiones de escantillonado	10
3.2.1 Calado de escantillonado.....	10
3.2.2 Eslora de escantillonado.....	10
3.2.3 Manga de escantillonado	12
3.2.4 Puntal de escantillonado.....	12
3.2.5 Coeficiente de bloque de escantillonado	12
3.2.6 Separación entre cuadernas.....	13
3.2.7 Factor de material.....	13
3.2.8 Resumen dimensiones escantillonado	14
3.3 Cálculo de parámetros previos	14
3.3.1 Coeficiente de navegación.....	14
3.3.2 Parámetro de ola	15
3.3.3 Número de Froude.....	15
3.3.4 Parámetro de aceleración y movimiento.....	15
3.3.5 Aceleración debida al “heave” (arfada).....	15
3.3.6 Aceleración debida al “pitch” (cabeceo).....	16
3.3.7 Aceleración debida al “roll” (balanceo)	16
3.3.8 Valor de referencia del movimiento relativo del buque	17
3.3.9 Resumen parámetros previos.....	18
3.4 Determinación de cargas de diseño sobre el casco	18
3.4.1 -Cargas en aguas tranquilas.....	19
3.4.2 -Cargas en condición de olas	20
3.4.3 Momento vertical máximo	21
3.4.4 Fuerza cortante máxima	21
3.4.5 Reducción en condición de quebranto.....	22
3.4.6 Resumen cargas sobre el casco.....	22
4 Cálculo de presiones y fuerzas locales.....	24
4.1 Presión local interna	24
4.1.1 Parámetros previos.....	24

4.1.2 Presión debida a carga líquida (z=0m)	24
4.1.3 Presión debida a la carga sólida.....	26
4.2 Presión del mar.....	27
4.2.1 Presión del mar en el fondo del casco	27
4.2.2 Presión del mar en el costado del casco	27
4.2.3 Presión del mar en la cubierta expuesta.....	28
4.3 Presión dinámica del mar	29
4.3.1 Presión dinámica del mar en el fondo del casco.....	29
4.3.2 Presión dinámica del mar en el costado del casco	29
4.3.3 Presión por slamming en el fondo del casco	30
4.4 Presión por cargas externas en cubierta expuesta.....	32
4.4.1 Presión en la cubierta de acomodación	32
4.4.2 Presión en la cubierta de espacios de máquinas.....	33
4.5 Resumen resultados presiones	34
5 Análisis de la resistencia global	35
5.1 Módulos	35
5.1.1 Módulo de la sección	35
5.1.2 Módulo en el fondo	35
5.1.3 Módulo en la cubierta	35
5.2 Tensiones totales.....	36
5.2.1 Tensión normal longitudinal	36
5.2.2 Tensión cortante longitudinal	36
5.3 Resumen resultados.....	37
6 Escantillonado	38
6.1 Escantillonado de chapas: espesor mínimo	38
6.2 Escantillonado de refuerzos secundarios: módulo mínimo	38
6.3 Escantillonado de refuerzos primarios: espesor mínimo	38
6.4 Escantillonado local de la cubierta resistente	40
6.4.1 Escantillonado de la chapa de cubierta	40
6.4.2 Escantillonado de refuerzos primarios de la cubierta resistente: esloras	43
6.4.3 Escantillonado de refuerzos secundarios de la cubierta resistente: baos	43
6.5 Escantillonado local del fondo	44
6.5.1 Escantillonado de la chapa de fondo	45

6.5.2 Escantillonado de las chapas de doble fondo.....	46
6.5.3 Escantillonado de refuerzos primario del fondo: vagras	46
6.5.4 Escantillonado de refuerzos secundarios del fondo: varengas	47
6.6 Escantillonado local del costado.....	47
6.6.1 Escantillonado de la chapa de costado	47
6.6.2 Escantillonado de refuerzos secundarios del costado: cuadernas	48
6.7 Resumen resultados escatillonado	49
6.8 Selección de chapas y refuerzos	50
6.8.1 Chapas	50
6.8.2 Llanta bulbo	50
6.8.1 Perfiles en T.....	52
6.8.2 Resumen elementos normalizados.....	54
7 Requisitos adicionales relacionados con la notación de servicio del buque proyecto.....	55
8 Escantillonado definitivo	56
9 BIBLIOGRAFÍA.....	57
10 ANEXO I: CUADERNA MAESTRA DE REFERENCIA.....	58
11 ANEXO II: PLANO DE LA CUADERNA MAESTRA	59

2 PRESENTACIÓN

En este cuaderno dimensionaremos los elementos estructurales de buque que corresponden a la cuaderna maestra. Calcularemos las chapas y los refuerzos de la estructura.

Para esto nos apoyaremos en el reglamento *Bureau Veritas NR600 de Noviembre de 2018*, y además cumplirá el *Convenio Internacional de Torremolinos para la seguridad de los buques de pesca*, el *Convenio Internacional de Líneas de Carga aplicable a los buques de pesca* y el *MARPOL para Zonas Polares*, tal y como se define en la RPA de nuestro buque.

Cabe destacar que para el cálculo de la cuaderna maestra de este buque se emplea el reglamento BV NR600, la última edición de noviembre de 2018, ya que es un buque pesquero que tiene una eslora menor de 90m. Si bien es cierto que podríamos haber usado el reglamento genérico BV NR467 del 2020, hemos escogido este, ya que es el más se adapta a la estructura de nuestro buque.

El procedimiento para el cálculo de la cuaderna maestra de nuestro buque es el siguiente: tenemos una cuaderna maestra que nos servirá para tener una noción de las magnitudes con las que debemos trabajar. Definiremos después nuestras dimensiones de escantillado, necesarias para los cálculos propuestos por la SSCC, y se calculan parámetros según formulación propuesta, ya que los necesitaremos posteriormente.

Una vez conocidas las dimensiones de escantillado y estos parámetros previos, procedemos al cálculo de presiones, tanto las debidas al mar como las debidas a la carga. Se calculan también los parámetros de movimiento y aceleraciones a las que va a estar sometido el buque.

Tras conocer las presiones de diseño, los módulos y tensiones, determinaremos las dimensiones que deberán tener los refuerzos y chapas para que la estructura pueda soportar las cargas estáticas y dinámicas a las que se verá sometido el buque.

3 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA CUADERNA MAESTRA

3.1 Diseño estructural

Dadas las características de nuestro buque proyecto, al tener una eslora total de 67,4m, el tipo de estructura que tendrá nuestro buque es transversal, ya que así se indica en el Bureau Veritas.

Entonces, nuestra estructura contará con:

Chapas del fondo, vagras, varengas, chapas del doble fondo, cuadernas, puntales, baos, esloras y chapas de la cubierta resistente.

En la siguiente imagen podemos ver un ejemplo de la estructura del doble fondo de nuestro buque. Sobre estas vagras y varengas se situarán las chapas de doble fondo, que forman el suelo de la cubierta de carga.

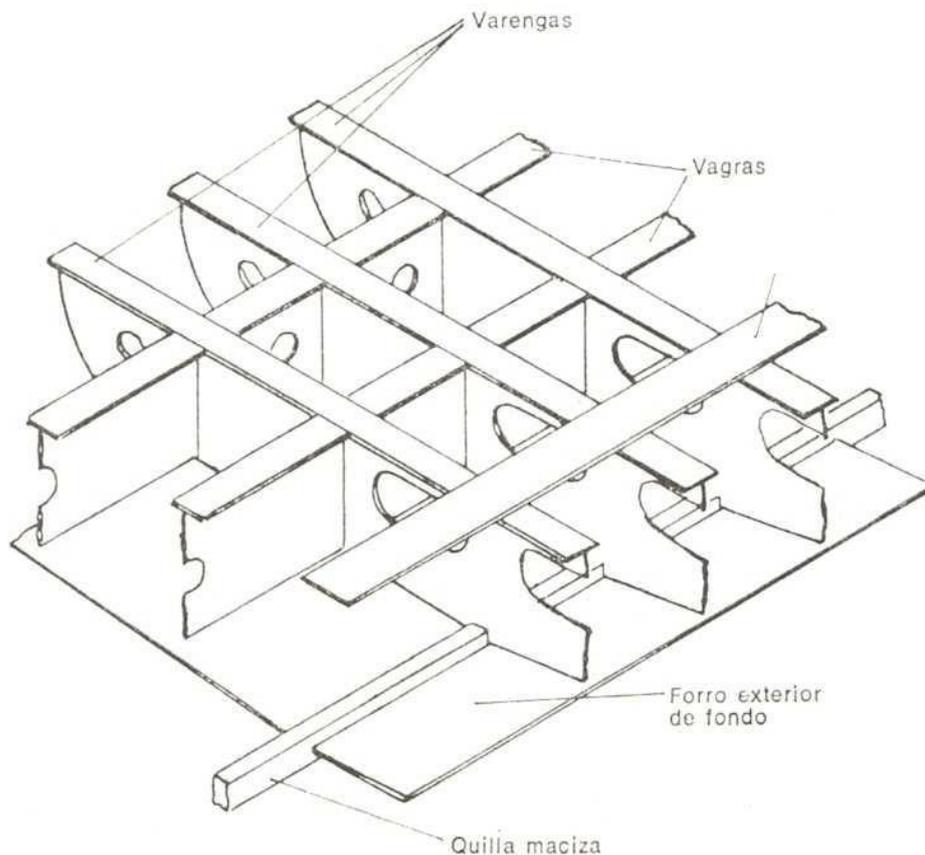
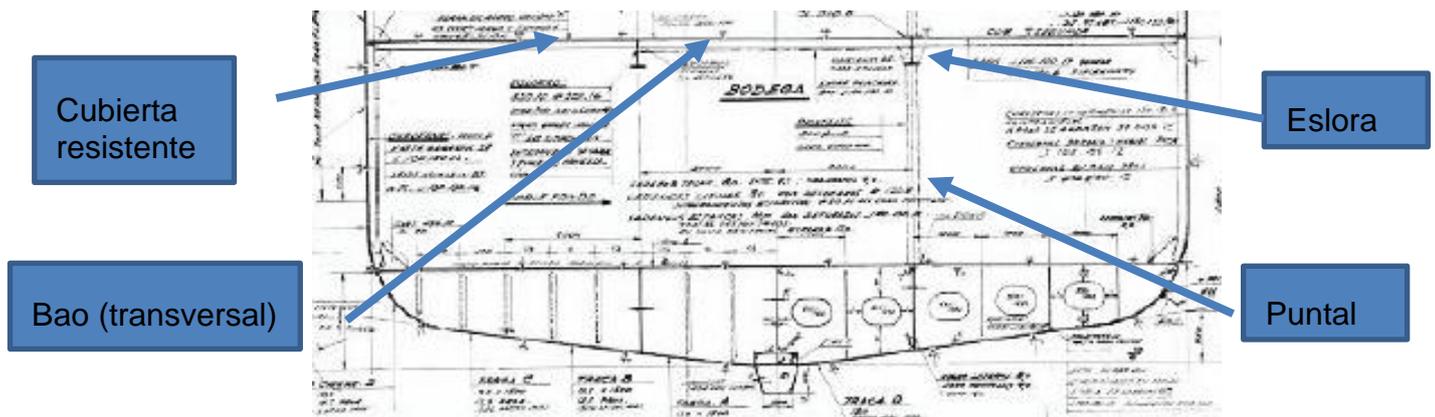


Ilustración 1: estructura del doble fondo

Adjuntamos a continuación la imagen de la estructura de un buque pesquero, donde queremos ejemplificar la disposición de baos, esloras, puntales y chapas de cubierta.

Sobre los puntales se apoyan las esloras, que son refuerzos primarios. Los baos son refuerzos secundarios, y sobre estos se dispone la chapa de cubierta.



Definimos entonces, las dimensiones de estas chapas y refuerzos:

3.2 Dimensiones de escantillonado

Tras justificar el tipo de estructura de nuestro buque, en este apartado nos ocuparemos de definir las dimensiones más características que necesitaremos a lo largo de nuestros cálculos.

Las definiciones a estas dimensiones las podemos encontrar en el reglamento *Bureau Veritas Ch 3, Sec 2*. Ahí se explican los símbolos que vamos a emplear y se indica en qué parte concreta del reglamento encontrarlos.

3.2.1 Calado de escantillonado

Se define como la distancia (m) medida verticalmente en la sección transversal media desde la línea base (L.B) a la flotación máxima de verano. El calado de escantillonado coincidirá con el calado de diseño, por lo que $T=6,37m$

3.2.2 Eslora de escantillonado

Esta medida se corresponde a la distancia medida sobre la flotación a la altura del calado de escantillonado (T).

Al tener el modelo del casco en Maxsurf, trazamos una línea de agua la altura de 6,6m y obtenemos que la eslora a ese calado es de 64,8m.

Del mismo modo obtenemos la eslora a la altura del calado de verano (6,37m), que tiene un valor de 64,7m.

Se calcula el 96% de la eslora al calado de escantillonado (64,8) y el 96% de la eslora al calado de verano (64,7), y el máximo es $L=64,8m$.

Se considera también la eslora entre perpendiculares, que es de 62,44m.

Entre ellas se calcula el mínimo entre la eslora entre perpendiculares y el 97% de la eslora en la flotación al calado máximo de verano. Se escoge el máximo entre este resultado y el 96% de la eslora en la flotación al calado de escantillonado, que resulta $L=62,76m$.

En la siguiente tabla se pueden ver todas las esloras propuestas y el resultado:

L escantillonado:	62,76
LWF al T escantillonado (6,6)	64,8
96%LWF al T escantillonado	62,208
LWF al T verano (6,37)	64,7
97%LWF al T verano	62,759
Lpp	61

Además de la eslora de escantillonado, según BV 600 Ch3, Sec 4, “symbols”, necesitaremos conocer para posteriores cálculos tanto L_{WL} como L_{HULL} , así que los definiremos en este apartado:

L_{WL} es la eslora de línea de agua, a máxima carga: 64,5m al calado de 4,98m (calado en la condición de máxima carga del buque)

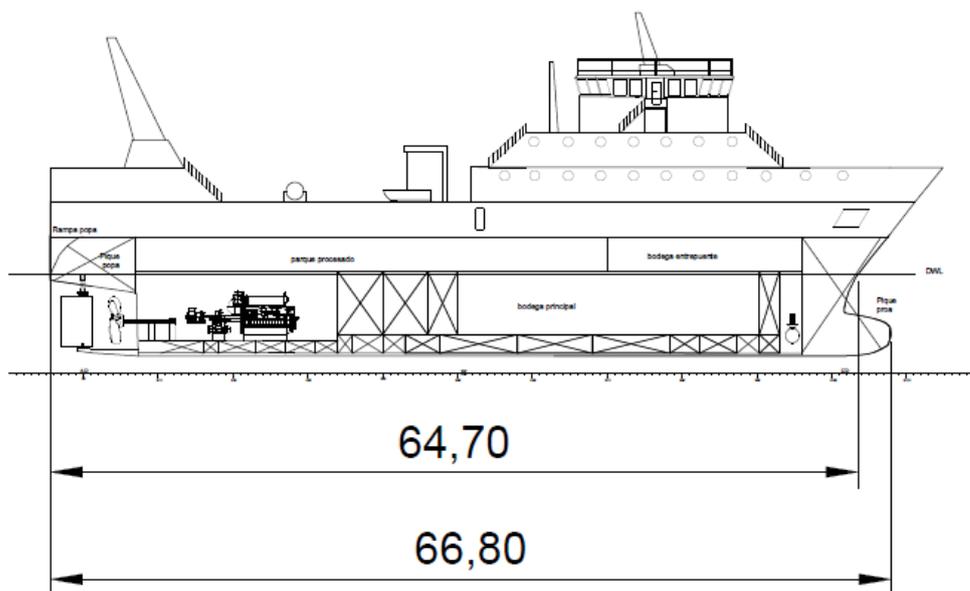
L_{HULL} es la longitud del casco desde el extremo de proa hasta el extremo de popa, que para nosotros es 66,8m.

Según la siguiente fórmula propuesta obtenemos L_W , que requeriremos en posteriores cálculos:

$$L_W = 0,5 (L_{WL} + L_{HULL})$$

$$L_W = 65,6m$$

En la siguiente imagen podemos ver las cotas de la eslora al calado de verano (6,37m) y la eslora máxima del casco, desde el extremo de popa hasta el de proa (66,8m)



3.2.3 Manga de escantillonado

Es la manga máxima del buque medida en el centro del buque y por debajo de la cubierta de intemperie (C.Superior), que es B=15m.

3.2.4 Puntal de escantillonado

Es el punta de trazado a la cubierta principal del buque proyecto, que es D=6,6m.

3.2.5 Coeficiente de bloque de escantillonado

Para el cálculo del coeficiente de bloque necesitamos saber el desplazamiento de nuestro buque, que obtenemos en maxsurf al calado de escantillonado (6,6m), resultando $\Delta=4007,75$ t.

Aplicamos ahora la siguiente fórmula:

$$CB_{escantillonado} = \frac{\Delta (T_{escantillonado})}{\rho \cdot L_{escantillonado} \cdot B_{escantillonado} \cdot T_{escantillonado}}$$

Donde:

L=62,76m

B=15m

T=6,37m

$\Delta=4228$ t

$\rho=1,025$ t/m³

Y obtenemos que el coeficiente de bloque de escantillonado es CB=0,67

En la siguiente captura podemos ver las hidrostáticas del buque proyecto al calado de diseño, 6,37m:

Hydrostatics at DWL X

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	4228	t
2	Volume (displaced)	4124,785	m ³
3	Draft Amidships	6,370	m
4	Immersed depth	6,597	m
5	WL Length	64,741	m
6	Beam max extents on WL	14,998	m
7	Wetted Area	1392,666	m ²
8	Max sect. area	93,506	m ²
9	Waterpl. Area	784,653	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,681	
11	Block coeff. (Cb)	0,644	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,947	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,808	

3.2.6 Separación entre cuadernas

Basándonos en la estructura de nuestro buque base, se intuye que la separación entre cuadernas deberá ser de unos 600mm, lo cual se confirma al estudiar el resto de buques de nuestra bibliografía: la separación entre cuadernas típica para un pesquero de estas dimensiones es de $S=600\text{mm}$.

3.2.7 Factor de material

El material empleado será acero naval de calidad A cuyas características aparecen en las siguientes tablas, que se encuentran en *Part B Ch 1 Sec 2 Art 2*:

Table 1 : Mechanical properties of hull steels

Steel grades $t \leq 100 \text{ mm}$	Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	Ultimate minimum tensile strength R_m , in N/mm^2
A-B-D-E	235	400 - 520
AH32-DH32 EH32-FH32	315	440 - 570
AH36-DH36 EH36-FH36 EH36CAS1-EH36CAS2 FH36CAS1-FH36CAS2	355	490 - 630
AH40-DH40 EH40- FH40 EH40CAS1-EH40CAS2 FH40CAS1-FH40CAS2	390	510 - 660
EH47 EH47CAS1-FH47CAS2	460	570 - 720
Note 1: See NR216 Materials and Welding, Ch 2, Sec 1, [2]		

Table 2 : Material factor k

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

Las características de nuestro material, que es el acero, son:

Límite elástico R: 235 N/mm^2

K=1 (factor del material)

Módulo de Young $E=2,6 \text{ E}+05 \text{ N/m}^2$

Coefficiente de Poisson $\mu=0,3$

Elongación $\epsilon=22\%$

3.2.8 Resumen dimensiones escantillonado

Se adjunta una tabla resumen de las dimensiones calculadas en este apartado:

RESUMEN DIMENSIONES ESCANTILLONADO		
Tescantillonado	6,6	m
L escantillonado	62,76	m
LWL	64,5	m
LHULL	66,8	m
LW	65,6	m
B escantillonado	15	m
D escantillonado	6,6	m
CB escantillonado	0,67	m
Separación cuadernas	600	mm

3.3 Cálculo de parámetros previos

Nos ocupamos en este apartado de definir ciertos parámetros necesarios para los cálculos de escantillonado. Son principalmente parámetros relacionados con los movimientos y aceleraciones del buque.

La formulación para estos cálculos podemos encontrarla en el *Bureau Veritas 2020 Pt B CH5 Sec 1*.

3.3.1 Coeficiente de navegación

Se define en *Ch 1, Sec 1, Art 3*, donde encontramos la siguiente tabla:

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

La condición en la que navegará nuestro buque es no restringida: *unrestricted navigation*, por lo que los coeficientes, tanto n como n₁ son iguales a 1.

3.3.2 *Parámetro de ola*

Conocido como *wave parameter* C_w , viene dado por la siguiente fórmula:

wave parameter C_w , in m, equal to:

$$C_w = 0,625 (118 - 0,36 L_w) L_w \cdot 10^{-3}$$

Bureau Veritas 600 Ch 3 Sec 2 Art 5.

Sustituyendo nuestra eslora de escantillonado obtenemos que $C_w=3,87$

3.3.3 *Número de Froude*

La formulación propuesta por el BV en Ch 3, Sec 4, Art 2 para el cálculo del número de Froude es la siguiente:

F : Froude's number equal to:

$$F = 0,164(V/\sqrt{L_{WL}}) \leq 0,33$$

Siendo nuestra velocidad de servicio 12 nudos y nuestra eslora de escantillonado 64,8m, obtenemos un Froude de 0,243

3.3.4 *Parámetro de aceleración y movimiento*

En BV Ch3, Sec 4, Art 2.1.4, , nos encontramos con que

$$a_B = n \left(0,76F + 2,5 \frac{C_w}{L_{WL}} \right)$$

Sustituyendo los valores que ya conocemos en la fórmula del parámetro de aceleración y movimiento y obtenemos que $a_B=0,335 \text{ m/s}^2$

3.3.5 *Aceleración debida al "heave" (arfada)*

The heave acceleration a_H , in m/s^2 , is obtained from the following formulae:

- for cargo ships: $a_H = a_B g$
- for non cargo ships: $a_H = 1,25 a_B g$

Al no ser un buque de carga resulta $a_H=4,1 \text{ m/s}^2$

3.3.6 Aceleración debida al "pitch" (cabeceo)

Se propone una formulación para este cálculo en BV Ch3, Sec 4, Art 2.1.6:

2.1.6 Pitch

The pitch acceleration α_p , in rad/s², is obtained from the following formula:

$$\alpha_p = A_p \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 n$$

where:

A_p : Pitch amplitude A_p , in rad, equal to:

$$A_p = (1 - L_{WL} 10^{-3}) C_{Ap}$$

with:

- for cargo ships:
 $C_{Ap} = 0,14$ for monohull
 $C_{Ap} = 0,16$ for catamaran
 $C_{Ap} = 0,21$ for swath
- for non cargo ships:
 $C_{Ap} = 0,16$ for monohull
 $C_{Ap} = 0,16$ for catamaran
 $C_{Ap} = 0,21$ for swath

T_p : Pitch period, in s:

- for cargo ships:
 $T_p = 0,56 (L_{WL})^{0,5}$ for monohull
 $T_p = 0,51 (L_{WL})^{0,5}$ for catamaran
 $T_p = 0,69 (L_{WL})^{0,5}$ for swath
- for non cargo ships:
 $T_p = 0,52 (L_{WL})^{0,5}$ for monohull
 $T_p = 0,51 (L_{WL})^{0,5}$ for catamaran
 $T_p = 0,69 (L_{WL})^{0,5}$ for swath.

Tenemos que C_{AP} es 0,16 para buques monocasco que no son cargueros, por lo que $A_P=0,15$ y haciendo los cálculos pertinentes sabemos que $T_P=4,17s$ (buque no carguero y monocasco).

Entonces el parámetro de cabeceo es $\alpha_P=0,338$ rad/s²

3.3.7 Aceleración debida al "roll" (balanceo)

La formulación para este apartado se encuentra en Ch 3, Sec 4, Art 2:

2.1.7 Roll

The roll acceleration α_R , in rad/s², is obtained from the following formula:

$$\alpha_R = A_R \left(\frac{2\pi}{T_R} \right)^2 n$$

where:

A_R : Roll amplitude, in rad:

- for cargo ships:
 $A_R = 0,35$ for monohull
 $A_R = 0,17$ for catamaran
 $A_R = 0,08$ for swath
- for non cargo ships:
 $A_R = 0,43$ for monohull
 $A_R = 0,17$ for catamaran
 $A_R = 0,08$ for swath

T_R : Roll period, in s, equal to:

$$T_R = 2,2 \frac{\delta}{\sqrt{GM}}$$

with:

- for cargo ships:
 - for monohull: $GM = 0,13 B_{WL}$ and $\delta = 0,35 B$
 - for catamaran: $GM = 1,10 B_E$ and $\delta = (0,3 B_E B_{WL})^{0,5}$
 - for swath: $GM = 0,50 B_E$ and $\delta = (0,3 B_E B_{SF})^{0,5}$
- for non cargo ships:
 - for monohull: $GM = 0,22 B_{WL}$ and $\delta = 0,35 B$
 - for catamaran: $GM = 1,10 B_E$ and $\delta = (0,3 B_E B_{WL})^{0,5}$
 - for swath: $GM = 0,50 B_E$ and $\delta = (0,3 B_E B_{SF})^{0,5}$

Según los valores dados, AR será 0,43 para nuestro buque, y TR se calcula mediante la fórmula propuesta.

Primero aceptamos que el valor de GM es igual a 3,3 y $\delta=5,25$. Por lo que TR=6,35

Entonces $\alpha_R=0,42$ rad/s².

3.3.8 Valor de referencia del movimiento relativo del buque

El artículo 2 de la sección 3 del tercer capítulo, nos proporciona la siguiente tabla:

Table 1 : Ship relative motion h_1

Location	Relative motion h_1 , in m, for cargo ship	Relative motion h_1 , in m, for non cargo ship
from aft part to 0,25 L_{WL}	$h_{1,A} = 0,63 \left(\frac{4,35}{\sqrt{C_B}} - (3,25) \right) h_{1,m} \geq h_{1,m}$	$h_{1,A} = 1,1 h_{1,m}$
from 0,25 L_{WL} to 0,70 L_{WL}	$h_{1,m} = 0,36 n C_W (C_B + 0,7)$ (1)	$h_{1,m} = (0,38 C_W + 0,3) n$ (2)
from 0,70 L_{WL} to 0,85 L_{WL}	$h_{1,E} = h_{1,m} + 0,125 h_{1,FE} \leq h_{1,FE}$	$h_{1,E} = \frac{1,4 h_{1,m} + 0,7 h_{1,FE}}{2}$
from 0,85 L_{WL} to fore part	$h_{1,FE} = 1,2 h_{1,m} \left(\frac{4,35}{\sqrt{C_B}} - 3,25 \right) C_H$	$h_{1,FE} = 1,7 h_{1,m} \left(\frac{7,6}{C_{0,1}} - 6,4 \right) C_H$
Note 1:		
C_H : Coefficient, to be taken as follows:		
<ul style="list-style-type: none"> • for monohull: $C_H = 1,00$ • for catamaran: $C_H = 1,20$ • for swath: $C_H = 0,75$ 		
(1) The value of $h_{1,m}$ is not to be taken greater than the minimum of T and $(D - 0,9 T_B)$.		
(2) The value of $h_{1,m}$ is not to be taken greater than T.		

De donde decidimos que h_1 se toma de 0,25L a 07L, siempre y cuando el valor obtenido sea menor que el calado de escantillonado. Lo comprobamos a continuación:

Conocemos C_w , que es el parámetro de ola (3,87), por lo tanto, tenemos que $h_1=1,77m$.

Las restricciones para este valor son:

- 1- Que el valor de h_1 no sea mayor que el mínimo entre T y $(D-0,9T_B)$. Siendo $D-0,9T_B=6.6-5.73=0.867m$
- 2- Que sea menor que T (5,99)

Como no se cumple la primera restricción, aceptamos el valor de 1,1m, que sería el máximo, por lo que $h_1=0.867m$.

3.3.9 Resumen parámetros previos

Se adjunta tabla resumen de los resultados obtenidos:

RESUMEN PARÁMETROS PREVIOS		
Coeficiente navegación n	1,000	
Parámetro de ola C_w	3,870	
Froude F	0,243	
Parámetro de aceleración y movimiento a_B	0,335	m/s ²
Aceleración debida al heave a_H	4,104	m/s ²
Periodo del pitch T_p	4,176	
Amplitud pitch A_p	0,150	
Aceleración debida al pitch α_P	0,338	rad/s ²
Amplitud del roll A_R	0,430	
Periodo de roll T_R	6,358	
GM	3,300	
delta	5,250	
Aceleración debida al roll α_R	0,420	rad/s ²
h_1	1,771	
Valor de referencia del movimiento relativo del buque h_1	0,867	m/s ²

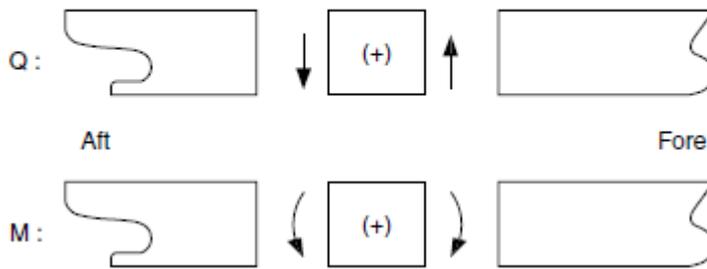
3.4 Determinación de cargas de diseño sobre el casco

Calculamos este apartado antes de escantillonar los diferentes elementos estructurales porque estas cargas son comunes a todos los puntos del casco, solo tenemos que calcularlas una vez y estos valores nos servirán para cálculos posteriores en cualquier apartado.

En este apartado calcularemos el arrufo y el quebranto, que vienen siendo el momento máximo vertical y la fuerza cortante máxima vertical.

En el reglamento se establece un convenio de signos para momentos flectores y fuerzas cortantes:

Figure 1 : Sign conventions of bending moments and shear forces



Se nos muestra además las combinaciones de cargas que se darán en el casco en diversas situaciones:

Table 1 : Hull girder load combinations for ship in displacement mode

Ship condition	Monohull ship	Multihull ship
All type of ship		
Head sea condition	(hogging)	$M_{SWH} + M_{WH}$
	(sagging)	$M_{SWS} + M_{WS}$
Quartering sea condition	(hogging)	NA
	(sagging)	NA
Digging in wave (sagging)	NA	$M_{SWS} + M_{DWL}$
In addition, for ship in planing mode		
Head sea condition (hogging or sagging)	M_{minH} or M_{minS}	M_{minH} or M_{minS} (1)
Quartering sea condition	NA	M_{min} (1)
In addition, for swath		
Transverse moment	NA	M_Q
Note 1: NA = Not applicable. (1) Not applicable to swath.		

BV 600 Ch 3, Sec 2, Art 3.

Para tener estas combinaciones necesitamos calcular entonces los momentos flectores y fuerzas cortantes, en arrufo y en quebranto, tanto para la condición de aguas tranquilas como para la condición de olas.

3.4.1 -Cargas en aguas tranquilas

3.4.1.1 Momento flector en condición de quebranto (aguas tranquilas)

Se representa como M_{SWH} , y para hallarlo recurrimos a la formulación del Bureau Vertias Ch 3, Sec 2.

En el apartado 4.3.1.a. se propone:

$$M_{SWH} = 0,8 (0,25 C_W L_W^2 B_{WL} C_B)$$

Todos estos datos ya los calculamos previamente, pero recordamos sus valores:

$$C_w=3,87$$

$$L_w=65,6m$$

$$B_{WL}=15m$$

$$C_B=0,67$$

Por lo que el momento flector en condición de quebranto en aguas tranquilas resulta **$M_{SWH}=343472,3kNm$**

3.4.1.2 Fuerza cortante en condición de quebranto (aguas tranquilas)

Calculamos Q_{SWH} sabiendo que L_{WL} es igual a 64,5m, por lo que la fuerza cortante en condición de quebranto y de aguas tranquilas es igual a

$$Q_{SWH} = 2075,8kNm$$

$$Q_{SWH} = \frac{4M_{SWH}}{L_{WL}}$$

3.4.1.3 Momento flector en condición de arrufo (aguas tranquilas)

b) Sagging conditions for monohull and catamaran

In sagging conditions, the maximum bending moment M_{SWS} , in kN-m, and the maximum shear force Q_{SWS} , in kN, may be taken equal to:

$$M_{SWS} = Q_{SWS} = 0$$

Siguiendo las instrucciones del reglamento consideramos **$M_{SWS}=0$** .

3.4.1.4 Fuerza cortante en condición de arrufo (aguas tranquilas)

Aceptamos **$Q_{SWS}=0$** por indicaciones del Bureau Veritas

3.4.2 -Cargas en condición de olas

En el BV 600, Ch 3, Sec 2 se propone la formulación que a continuación se adjunta, para el cálculo de las cargas sobre el casco en situación de oleaje.

3.4.2.1 Momento flector en condición de quebranto (olas)

$$M_{WH} = 0,20 n C_w L_w^2 B_{WL} C_B$$

Que resulta **$M_{WH}=33472,33 kNm$**

3.4.2.2 Fuerza cortante en condición de quebranto (olas)

$$Q_{WH} = 0,65 n C_w L_w B_{WL} C_B$$

Tras los cálculos obtenemos una fuerza cortante igual a $Q_{WH}=1658,31 \text{ kNm}$

3.4.2.3 Momento flector en condición de arrufo (olas)

$$M_{WS} = - 0,25 n C_W L_W^2 B_{WL} C_B$$

En condición de arrufo y olaje, el momento flector es de $M_{WS}=-637,81 \text{ kNm}$

3.4.2.4 Fuerza cortante en condición de arrufo (olas)

$$Q_{WS} = - 0,75 n C_W L_W B_{WL} C_B$$

En condición de arrufo y oleaje, el momento flector tiene un valor de $Q_{WS}=-1913,43\text{kNm}$

Tras calcular los momentos y fuerzas por separado, vamos a seguir la tabla que podemos encontrar en BV 600 Ch 3, Sec 2, Art 3 y que hemos adjuntado anteriormente para calcular momentos y fuerzas totales:

3.4.3 Momento vertical máximo

Procedemos a calcular los momentos verticales totales en quebranto y arrufo, y el mayor de ellos será el momento vertical máximo del buque:

3.4.3.1 Momento vertical en quebranto

Es la suma del momento vertical en quebranto en aguas tranquilas y el momento vertical en quebranto en condición de olas, y resulta:

$$M_{VH}=66944,66 \text{ kNm}$$

3.4.3.2 Momento vertical en arrufo

Lo calculamos sumando los momentos verticales en arrufo en condición de aguas tranquilas y en condición de quebranto.

El momento máximo vertical del buque es entonces el máximo de estos valores:
 $M_{MV}=66944,66 \text{ kNm}$

3.4.4 Fuerza cortante máxima

Al igual que el momento vertical, la fuerza cortante máxima es el mayor de los valores entre la fuerza vertical en condición de quebranto y la de arrufo

3.4.4.1 Fuerza cortante vertical en quebranto

Se calcula sumando las fuerzas cortantes en quebranto en olas y en aguas tranquilas, resultando: $Q_{VH}=3734,11\text{kN}$

3.4.4.2 Fuerza cortante vertical en arrufo

De igual modo que la anterior, sus componentes son la fuerza cortante en arrufo en sus dos versiones de aguas tranquilas y oleaje.

Obtenemos una fuerza cortante vertical en arrufo de **$Q_{vs}=-191,43$ kN**

La fuerza cortante máxima del buque (valor máximo entre las fuerzas de arrufo y quebranto), es **$Q_{MV}=3734,11$ kN**.

3.4.5 Reducción en condición de quebranto

Cabe mencionar que tras calcular todas las fuerzas y momentos, los valores más altos tanto de fuerza cortante como de momento flector, son aquellos obtenidos en condición de quebranto.

El reglamento indica que se permite reducir un 40% estos valores en condición de quebranto si el buque tiene una superestructura que ocupa toda la eslora o que va de 0,3L a 0,7L. En el caso de nuestro buque proyecto cumplimos este requerimiento, ya que la cubierta superior es una cubierta corrida que tiene una eslora igual al 100% de la eslora del buque, por lo que sí tenemos una superestructura que nos permite hacer las reducciones de momentos y fuerzas en quebranto.

3.4.6 Resumen cargas sobre el casco

Se adjunta cuadro resumen con los resultados obtenidos por formulación, así como los resultados obtenidos tras las reducciones al quebranto por tener una superestructura continua.

Los valores reales que usaremos para los cálculos serán los de la última tabla, con las reducciones.

MOMENTOS Y FUERZAS SOBRE EL CASCO			
MOMENTOS Y FUERZAS			
Momento flector en condición de quebranto (aguas tranquilas)	MSWH	33472,33	kNm
Fuerza cortante en condición de quebranto (aguas tranquilas)	QSWH	2075,80	kN
Momento flector en condición de arrufo (aguas tranquilas)	MSWS	0,00	kNm
Fuerza cortante en condición de arrufo (aguas tranquilas)	QSWs	0,00	kN
Momento flector en condición de quebranto (olas)	MWH	33472,33	kNm
Fuerza cortante en condición de quebranto (olas)	QWH	1658,31	kN
Momento flector en condición de arrufo (olas)	MWS	-637,81	kNm
Fuerza cortante en condición de arrufo (olas)	QWS	-1913,43	kN
MOMENTO VERTICAL MÁXIMO			
Momento vertical en quebranto	MVH	66944,66	kNm
Momento vertical en arrufo	MVS	-637,81	kNm
Momento máximo vertical del buque	MMV	66944,66	kNm
FUERZA CORTANTE MÁXIMA			
Fuerza cortante vertical en quebranto	QVH	3734,11	kN
Fuerza cortante vertical en arrufo	QVS	-1913,43	kN
Fuerza cortante vertical máxima del buque	QMV	3734,11	kN

MOMENTOS Y FUERZAS SOBRE EL CASCO TRAS REDUCCIONES			
MOMENTOS Y FUERZAS			
Momento flector en condición de quebranto (aguas tranquilas)	MSWH	20083,40	kNm
Fuerza cortante en condición de quebranto (aguas tranquilas)	QSWH	1245,48	kN
Momento flector en condición de arrufo (aguas tranquilas)	MSWS	0,00	kNm
Fuerza cortante en condición de arrufo (aguas tranquilas)	QSWs	0,00	kN
Momento flector en condición de quebranto (olas)	MWH	20083,40	kNm
Fuerza cortante en condición de quebranto (olas)	QWH	994,99	kN
Momento flector en condición de arrufo (olas)	MWS	-637,81	kNm
Fuerza cortante en condición de arrufo (olas)	QWS	-1913,43	kN
MOMENTO VERTICAL MÁXIMO			
Momento vertical en quebranto	MVH	40166,80	kNm
Momento vertical en arrufo	MVS	-637,81	kNm
Momento máximo vertical del buque	MMV	66944,66	kNm
FUERZA CORTANTE MÁXIMA			
Fuerza cortante vertical en quebranto	QVH	2240,47	kN
Fuerza cortante vertical en arrufo	QVS	-1913,43	kN
Fuerza cortante vertical máxima del buque	QMV	3734,11	kN

4 CÁLCULO DE PRESIONES Y FUERZAS LOCALES

La estructura de nuestro buque se encuentra afectada por diversas cargas. Entre estas cargas debemos diferenciar las debidas a factores externos (la presión del mar y presiones dinámicas) y las debidas a las presiones internas de los tanques, como hemos visto en el apartado anterior.

Dentro de estas cargas producidas por presiones locales externas, tenemos las cargas debidas a la presión del mar (por la presión hidrostática y el choque de olas) y las presiones dinámicas, que son impactos en el fondo o en el costado pero de menor período que las olas

4.1 Presión local interna

4.1.1 Parámetros previos

Recordamos algunos parámetros ya calculados en este cuaderno, pero que volveremos a necesitar en este apartado:

Parámetros previos al cálculo de presiones internas		
Parámetro de aceleración y movimiento aB	0,335	m/s ²
Aceleración debida al heave aH (arfada)	4,104	m/s ²
Aceleración debida al pitch αP (cabeceo)	0,338	rad/s ²
Aceleración debida al roll αR (balance)	0,420	rad/s ²
aceleración vertical az	10,59	m/s ²

4.1.2 Presión debida a carga líquida (z=0m)

En este apartado calcularemos la presión debida a la carga líquida en mamparos estancos, que en el caso de nuestro buque serán los tanques del doble fondo. Haremos los cálculos para tanques de doble fondo que contengan combustible, ya que son los más representativos. A lo largo de la eslora del buque podemos encontrar una zona en la que el doble fondo no tiene 1,5m de altura, si no 1 metro, y los tanques de esa zona, además de ser de combustible, también pueden ser de aguas negras, lodos, etc. Pero calcularemos la presión para la condición más representativa, que resulta ser también la más desfavorable, en la que tenemos tanques de doble fondo de 1,5m de altura.

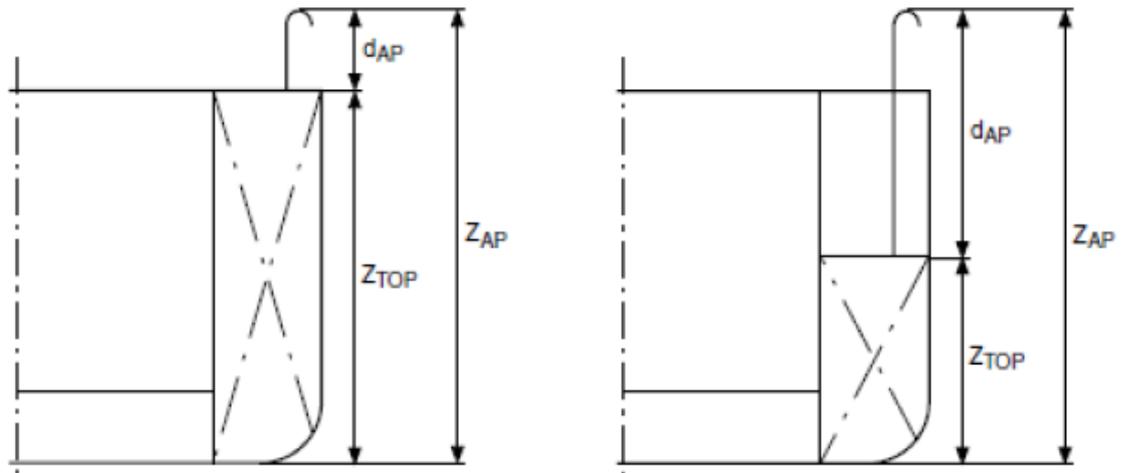
Para estos cálculos encontramos la formulación en el Ch 3, Sec 4 Art 3.1.1 del reglamento:

The local internal pressure p , in kN/m², on watertight bulk-heads, bottom and top of liquid capacity is to be taken equal to the greater value obtained from the following formulae:

$$p = \rho_L \left[0,15\eta g \frac{\ell_b}{2} + a_z \eta (z_{TOP} - z) + g(z_L - z) \right]$$

$$p = \rho_L (g + a_z \eta) (z_{TOP} - z) + 100 p_{pv} + 0,15\eta g \rho_L \frac{\ell_b}{2}$$

Se adjunta un esquema proporcionado por el Bureau Veritas para representar estas medidas:



Entonces, definimos los valores de todos los componentes de las fórmulas expuestas:

$\rho=0,85\text{t/m}^3$, densidad del combustible

$a_z=10,59\text{m/s}^2$, aceleración vertical

l_b es la medida de eslora de este tanque. Escogemos, como hemos dicho, el más desfavorable, que tendrá 6 metros de eslora.

Se adjunta captura del diseño de este tanque en Maxsurf para verificar las dimensiones:

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m
16	Sedimentación MDO ER	Tank	98	100	0,84	Diesel	none	24,000	27,000	0,000	8,000	1,500	0,000
17	MDO 1 BR	Tank	98	100	0,84	Diesel	none	40,800	45,200	-8,000	0,000	1,500	0,000
18	MDO 1 ER	Tank	98	100	0,84	Diesel	none	40,800	45,200	0,000	8,000	1,500	0,000
19	MDO 2 BR	Tank	98	100	0,84	Diesel	none	34,800	40,800	-8,000	0,000	1,500	0,000
20	MDO 2 ER	Tank	98	100	0,84	Diesel	none	34,800	40,800	0,000	8,000	1,500	0,000
21	MDO 3 BR	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	30,600	34,800	-8,000	0,000	1,500	0,000
22	MDO 3 ER	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	30,600	34,800	0,000	8,000	1,500	0,000
23	MDO 4 BR	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	27,000	30,600	-8,000	0,000	1,500	0,000
24	MDO 4 ER	Tank	100	100	0,84	Diesel	none	27,000	30,600	0,000	8,000	1,500	0,000
25	HFO 1 BR	Tank	98	100	0,9443	Fuel Oil	none	53,600	55,200	-8,000	0,000	6,600	1,500
26	HFO 1 ER	Tank	98	100	0,9443	Fuel Oil	none	53,600	55,200	0,000	8,000	6,600	1,500

$\eta=0,8$

$Z=0\text{m}$, altura de la chapa del fondo, que es la que soporta la presión debida a los tanques del doble fondo

Z_{top} es el puntal del tanque, 1,5m

$P_{pv}=0\text{bar}$

$Z_{ap}=Z_{top}+1=2,5\text{m}$

$Z_l=z+0,5*(Z_{ap}-z)=1,25\text{m}$

Entonces, tenemos dos resultados:

$P_1=13,8\text{kN/m}^2$

$P_2=26,31\text{N/m}^2$

Aceptamos el mayor de estos valores, o sea que la presión interna debido a cargas líquidas es de **$P=13,8\text{kN/m}^2$**

4.1.3 Presión debida a la carga sólida

La formulación para el cálculo de la presión local se encuentra en Ch 3, Sec 4: Dry cargoes.

En el caso de la bodega principal, la carga sería del tipo “dry uniform cargo”

3.2 Dry cargoes

3.2.1 Dry uniform cargo

The pressure p , in kN/m^2 , transmitted to the structure by dry uniform cargo is to be taken equal to the following formula:

$$p = p_s \left(1 + \frac{a_z \eta}{g} \right)$$

where:

- p_s : Design pressure given by the Designer
 When this value is not defined, p_s may be taken equal to $6,9 h_{TB}$, where h_{TB} is the compartment height at side
- a_z : Vertical acceleration, in m/s^2 , as defined in [2.2]
- η : Acceleration coefficient to be taken equal to:
- for ship in displacement mode: $\eta = 1,0$
 - for ship in planing mode: $\eta = 0,4$

Donde:

La presión de diseño será 6,9 por la altura del compartimento, que es 5,1m.

El valor del coeficiente de aceleración es igual a 1

Y la aceleración vertical la calculamos a continuación:

Table 1 : Vertical acceleration a_z

Location	a_z , in m/s^2	
	Cargo ship	Non cargo ship
from aft part to $0,25 L_{WL}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 40L_{WL})^2}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 30L_{WL})^2}$
from $0,25 L_{WL}$ to $0,70 L_{WL}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 20L_{WL})^2}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 20L_{WL})^2}$
from $0,70 L_{WL}$ to $0,85 L_{WL}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 40L_{WL})^2}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 30L_{WL})^2}$
from $0,85 L_{WL}$ to fore part	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 55L_{WL})^2}$	$\sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2(0, 50L_{WL})^2}$

Entre $0,25L_{WL}$ y $0,7L_{WL}$, a_z será igual a $10,59\text{m/s}^2$.

Entonces, la presión interna debido a la carga (seca y uniforme) será igual a **P=73,18KN/m2**.

4.2 Presión del mar

4.2.1 Presión del mar en el fondo del casco

Para este apartado nos remitimos al BV NR600, Ch 3, Sec 2, Art 2.2.1:

for bottom structure:

$$P_s = \rho g(T + h_1 + h_2 - z_0)$$

Sabemos que la densidad del agua salada es $\rho=1,025 \text{ t/m}^3$, la gravedad es $9,81 \text{ m/s}^2$, el calado $6,37\text{m}$, $h_1=0,86\text{m}$ por cálculos anteriores y las alturas h_2 , z_0 y z son todas iguales a 0, ya que nos encontramos en el fondo del casco, por lo que:

Presión debida al mar en el fondo del casco **Ps=72,69 kN/m2**

4.2.2 Presión del mar en el costado del casco

Para calcular el efecto de la presión del mar en el costado del buque, recurrimos a la formulación dada en Ch 3, Sec 3, Art 2.2.1:

for side shell structure:

the greater value obtained from the following formulae, without being taken greater than the sea pressure calculated for the bottom:

$$P_s = \rho g(T + h_1 + h_2 - z)$$

$$P_s = \rho g\left(T + \frac{0,8B_1}{2} \sin A_R - z\right)$$

$$P_s = P_{dmin}$$

Donde:

$$\rho=1,025\text{t/m}^3$$

$$g=9,81\text{m/s}^2$$

$$h_1=0,86\text{m}$$

$$h_2=0\text{m}$$

$z=1,5\text{m}$, punto de aplicación, que es la chapa del casco que está más cerca de la tapa del doble fondo y por tanto sometida a mayores presiones

$z=1,5\text{m}$, zona más desfavorable del costado del casco que tendrá que soportar la presión del mar, la chapa siguiente a la tapa de doble fondo, donde empieza el costado.

$$A_r=25^\circ$$

$$B=15\text{m}$$

$$P_1=57,61\text{kN/m}^2$$

$$P_2=P_{\text{dmín}}=9,4\text{kN/m}^2$$

$$P_3=74,46\text{kN/m}^2$$

Entonces tenemos que **$P_s=74,46\text{kN/m}^2$**

4.2.3 Presión del mar en la cubierta expuesta

Para calcular la presión del mar sobre la cubierta expuesta:

$$P_d = (p_0 - 10 z_d) \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \geq P_{\text{dmín}}$$

Donde:

$$P_0=P_s=72,69\text{kN/m}^2$$

fondo del casco, por lo que:

$Z_d=6,6\text{m}$, que es el puntal a cubierta principal

$\varphi_1=1$ por ser la cubierta de francobordo

$$\varphi_2 = LWL/120 = 0,537 > 0,42$$

$$\varphi_3=1$$

Obtenemos pues que un resultado de PD negativo, ya que nuestra P_0 es menor que 10 veces el puntal (Z_d).

El valor de P_d tiene que cumplir la restricción de ser mayor que $P_{\text{dmín}}$:

$P_{\text{dmín}}$: Minimum sea pressure on deck, in kN/m^2 ,
equal to:

- from aft part to $0,70 L_{WL}$:

$$P_{\text{dmín}} = 17,5 n \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 > 5$$

- from $0,70 L_{WL}$ to fore part:

$$P_{\text{dmín}} = 19,6 n \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 > 7$$

Que resulta: $P_{\text{dmín}}=9,4 > P_d=3,6$

Como por formulación P_d es menor que $P_{\text{dmín}}$, aceptaremos el valor de $P_{\text{dmín}}$, por lo que **$P_d=9,40 \text{ kN/m}^2$** .

4.3 Presión dinámica del mar

4.3.1 Presión dinámica del mar en el fondo del casco

Nos apoyamos en el reglamento, Ch 3, Sec 3, Art 3.2.3:

$$p_{BI} = 62 C_1 L_{WL}^{0,6}$$

where:

- general case:

$$C_1 = \frac{119 - 2300 \frac{T_{Fmin}}{L_{WL}}}{78 + 1800 \frac{T_{Fmin}}{L_{WL}}}$$

with $0 < C_1 \leq 1$

Si calculamos el coeficiente C1 con el dato de calado de francobordo $T_f=4,98m$ (resultado de condiciones de carga, cuaderno 5). Tenemos que $c=0,26$

Tenemos entonces que la presión dinámica en el fondo del casco es igual a **P=198,2kN/m²**

4.3.2 Presión dinámica del mar en el costado del casco

En este apartado calcularemos la presión a la que se ve sometido el fondo del casco como consecuencia del movimiento del mar. Obtenemos la formulación de Ch 3, Sec 3, Art 3.1.2:

$$p_{smin} = C_i n_1$$

where:

- C_i : Dynamic load, in kN/m² defined in Tab 2.
- n_1 : Coefficient depending on the assigned navigation notation or operating area notation, to be taken equal to:
- 1 for **unrestricted navigation**
 - 0,9 for **summer zone**
 - 0,8 for **tropical zone**
 - 0,7 for **coastal area** or operating area notation assigned to ships intended to operate only within 20 miles from shore
 - 0,6 for **sea going launch**.

Las cargas dinámicas se definen en la siguiente tabla:

	from T to T+1, in m	from T+1 to T+3, in m	above T+3, in m
from aft part to 0,70 L _{WL}	55	40	30
from 0,70 L _{WL} to fore part	70	55	30

Para nuestra zona de cálculo, $C_i=40\text{kN/m}^2$ y $n_1=1$, por lo tanto:

$P_{s\text{min}}=40\text{kN/m}^2$

4.3.3 Presión por slamming en el fondo del casco

Para este apartado, encontramos la formulación correspondiente en el apartado Ch 3, Sec 3, Art 3.3.2:

$$P_{sl} = P_{sl1} K_2$$

where:

K_2 : Area factor defined in [3.3.3], item b)

P_{sl1} : Design bottom slamming pressure, in kN/m^2 , equal to:

$$P_{sl1} = 100 T K_1 K_3 a_{CG}$$

K_1 : Distribution factor defined in [3.3.3], item a)

K_3 : Bottom shape factor defined in [3.3.3], item c)

a_{CG} : Vertical design acceleration at L_{CG} , expressed in g, defined in [3.3.4].

Para nuestro buque proyecto:

$K_1=0,9$ por encontrarse la zona de estudio entre $0,35L$ y $0,7L$

Para calcular K_3 :

$$K_3 = \frac{70 - \alpha_d}{70 - \alpha_{dCG}} \leq 1$$

where:

α_d : Deadrise angle at the considered transverse section, in deg (see Fig 3)

α_{dCG} : Deadrise angle, in deg, measured at the ship longitudinal centre of gravity L_{CG} (see Fig 3).

The values taken for α_d and α_{dCG} are to be between 10° and 50° .

Tenemos que los ángulos de astilla muerta serán:

$\alpha_d=20^\circ$

ad gc =20°

El coeficiente k3 será igual a 1

Para acg:

$$a_{CG} = f_{oc} \cdot s_{oc} \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}$$

where:

f_{oc}, s_{oc} : Values given, respectively, in Tab 5 and Tab 6.

Y las tablas correspondientes:

Type of service	Passenger, Ferry, Cargo	Supply, Fishing	Pilot, Patrol	Rescue
f _{oc}	0,666	1,000	1,333	1,666
Note 1: As a rule, f _{oc} is to be taken equal to 0,666 for launch and sea going launch.				

Navigation notation	Unrestricted navigation	Summer zone	Tropical zone or coastal area (3)	Sheltered area (4)
Wave height (for information only) (1)	H _s ≥ 4,0 m or 2,5 m ≤ H _s < 4,0 m		0,5 m < H _s < 2,5 m	H _s ≤ 0,5 m
s _{oc}	C _F (2)	0,30	0,23	0,14
(1) Wave heights, given for information only, in relation with the navigation notations are wave heights which are exceeded for an average of not more than 10% of the year. (2) For passenger, ferry and cargo ship, their seaworthiness in this condition is to be ascertained. In general, the value of s _{oc} should not be less than the values given in this Table, with: $C_F = 0,2 + \frac{0,6}{V/\sqrt{L_{WL}}} \geq 0,32$ (3) Not applicable to ships having the type of service "Rescue". (4) Not applicable to ships having the type of service "Pilot, Patrol" or "Rescue". As a rule, applicable to ships having the navigation notation sea going launch or launch .				

Entonces f_{oc}=1 y s_{oc}=C_F=0,601

Por tanto, acg=0,89

Calculamos ahora el valor de k2, factor de área:

$$K_2 = 0,455 - 0,35 \frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \geq K_{2min}$$

where:

$$u = 100 \frac{S_a}{S_r}$$

S_a : Area, in m², supported by the element (plating, stiffener, floor or bottom girder)

For plating, the supported area is the spacing between the stiffeners multiplied by their span (the span is not to be taken more than three times the spacing between the stiffeners)

S_r : Reference area, in m², equal to:

$$S_r = 0,7 \frac{\Delta}{T}$$

Note 1: For catamaran, Δ is to be taken as half of the total displacement.

K_{2min} : Minimum values of K_2 , taken equal to:

- for steel and aluminium structure:
 $K_{2min} = 0,50$ for plating and side scuttle
 $K_{2min} = 0,45$ for secondary stiffeners
 $K_{2min} = 0,35$ for primary stiffeners
- for composite and plywood structure:
 $K_{2min} = 0,15$ for plating, sidescuttle and for secondary stiffeners
 $K_{2min} = 0,35$ for primary stiffeners.

En nuestro caso, como el elemento a soportar son las chapas del fondo, las dimensiones de las mismas serán de 600x1500mm. El valor de $S_a=0,9$, el valor de $S_r=464,5m^2$

Entonces, $u=0,19$ y $k_2=0,7 > k_{2min}$

Procedemos a sustituir los datos en la fórmula inicial para el cálculo de la presión por slamming en el fondo y obtenemos que $P_{sl} =$

$$P_{sl1} = 510,23 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{sl} = 357,16 \text{ kN/m}^2$$

4.4 Presión por cargas externas en cubierta expuesta

4.4.1 Presión en la cubierta de acomodación

Para calcular las cargas en la cubierta expuesta debemos tener en cuenta la presión que supone soportar las cubiertas siguientes, donde se encuentra la habilitación del buque. Recordamos que nuestra cubierta expuesta se ha tomado la como la cubierta principal ($D_{cp}=6,6m$), por lo que todo lo que esté situado por encima de la misma se tendrá en cuenta en este apartado.

El reglamento en Ch 3, Sec 4, Art 4.2.1, propone:

$$p = p_s \left(1 + \frac{a_z \eta}{g} \right)$$

where:

- a_z : Reference value of the vertical acceleration defined in [2.2]
- η : As defined in [3.2.1]
- p_s : Pressure defined by the Designer, to be taken at least equal to the values given in Tab 3.

Accommodation deck	p_s , in kN/m ²
Large public spaces such as restaurants, halls, cinema, 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

Como tenemos todo tipo de compartimentos en la habilitación del buque, aceptamos la peor de las condiciones aplicable, que establece una presión de 3kN/2 para camarotes, la enfermería, salones y comedores, etc. La peor de las presiones se tomaría para grandes espacios públicos como restaurantes y cines, propios de buques de pasaje, pero en nuestro buque proyecto, al tratarse de un buque de trabajo, no tendremos este tipo de instalaciones.

Entonces, **P=5,59kN/m2**

4.4.2 Presión en la cubierta de espacios de máquinas

Para calcular esta presión recurrimos al Ch 3, Sec 4, Art 4.2.2 de la norma:

$$p = p_s \left(1 + \frac{a_z \eta}{g} \right)$$

where:

- a_z : Reference value of the vertical acceleration defined in [2.2]
- η : As defined in [3.2.1]
- p_s : Pressure defined by the Designer
 When this value is not defined, p_s may be taken equal to 10 kN/m².

Y tenemos que, en estas zonas de maquinaria, **P=18,63kN/m2**

4.5 Resumen resultados presiones

CÁLCULO DE PRESIONES Y FUERZAS LOCALES			
PRESIÓN LOCAL INTERNA			Localización
Presión debida a carga líquida (tanques)	13,800	kN/m ²	z=0
Presión debida a carga sólida (bodega)	73,180	kN/m ²	z=1,5m
PRESIÓN DEL MAR			
Pd min	9,41	kN/m ²	
Presión del mar en el fondo del casco	72,699	kN/m ²	z=0
Presión del mar en el costado del casco	74,460	kN/m ²	z=1,5m
Presión del mar en la cubierta expuesta	9,406	kN/m ²	z=6,6 m
PRESIÓN DINÁMICA DEL MAR			
Presión dinámica del mar en el fondo del casco (Pbl)	198,200	kN/m ²	z=0
Presión dinámica del mar en el costado del casco (Pss min)	40,000	kN/m ²	z=1,5m
Presión por el slammin en el fondo del casco (Psl)	357,160	kN/m ²	z=0
PRESIÓN POR CARGAS EXTERNAS EN CUBIERTA EXPUESTA			
Presión en la cubierta de acomodación	5,590	kN/m ²	z=6,6 m
Presión en la cubierta de espacios de máquinas	18,630	kN/m ²	z=1m

5 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA GLOBAL

5.1 Módulos

5.1.1 Módulo de la sección

Encontramos la formulación para calcular este valor en el Ch4, Sec 2, Art. 3.2.1:

$$Z_A = \frac{I_y}{I Z - N I}$$

Donde:

Z es el puntal a la cubierta castillo bajo, es decir 12,2m

N es el eje neutro de la cuaderna maestra, 6,1m.

$$I_y = \frac{1}{12} * Z * B^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} * 12,5 * 15^3 = 3515,6m^4$$

Entonces:

$$Z_A = \frac{3515,6}{I 12,2 - 6,1I}$$

$$Z_A = 576,32m^3$$

5.1.2 Módulo en el fondo

Encontramos la formulación en el Buerau Veritas NR 600 Ch 4, Sec 2, Art 3.2.3:

$$Z_{AB} = \frac{I_y}{N}$$

Sustituimos en la fórmula los datos de $I_y=3515,6m^4$ y $N=6,1m$:

$$Z_{AB} = \frac{3515,6}{6,1} = 576,3m^3$$

5.1.3 Módulo en la cubierta

Para este apartado recurrimos al Ch 4, Sec 2, Art 3.2.2:

V_D : Vertical distance, in m, equal to:

$$V_D = z_D - N$$

z_D : z co-ordinate, in m, of the deck, above the base

$$ZAD = \frac{Iy}{VD}$$

Conociendo $Iy=3515,6m^4$ y

Entonces $ZD=6,6m$, altura de la cubierta principal

$VD=6,6-6,1=0,5m$

$$ZAD = \frac{3515,6}{0,5} = 7031,2m^3$$

5.2 Tensiones totales

5.2.1 Tensión normal longitudinal

Para calcular esta tensión, recurrimos al reglamento, Ch 4, Sec 2, Art 3.3.1:

$$\sigma_A = \frac{M_v}{Z_A} 10^{-3}$$

where:

M_v : Vertical overall bending moment of combination global loads in head sea conditions, in kN·m, as defined in Ch 3, Sec 2, [3] and for planing hull as defined in Ch 3, Sec 2, [6.1]

Z_A : Section modulus, in m^3 , calculated according to [3.2.1].

En nuestro caso,

M_v es el momento σ vertical máximo, y es igual a $M_v=66.944,6kNm$

Z_A es el módulo de la sección, $Z_A=576,32m^3$

Entonces:

$$\sigma_A = \frac{M_v}{Z_A} * 10^{-3}$$
$$\sigma_A = \frac{66944,6}{576,3} * 10^{-3} = 0,116N/mm^2$$

5.2.2 Tensión cortante longitudinal

En este apartado buscamos obtener un valor para la tensión cortante longitudinal en cualquier punto de la sección transversal. Se adjunta una captura de la formulación propuesta por el BV en el Ch 4, Sec 2, Art 3.3.2

$$\tau_A = \frac{Q_V}{S_A} 10^{-3}$$

where:

Q_V : Vertical overall shear force of combination global loads in head sea conditions, in kN, as defined in Ch 3, Sec 2, [3]

S_A : Vertical section, in m^2 , calculated according to [3.2.3].

Como la fuerza cortante vertical máxima es de $Q_{mv}=3734,1\text{KN}$ y S_a es igual a la altura hasta la cubierta castillo bajo (15m), ya que son las secciones verticales que contribuyen a la rigidez global del casco, por un espesor de 10mm a cada banda, entonces $S_a=0,15\text{m}^2$.

$$\tau_A = \frac{Q_V}{S_A} * 10^{-3}$$

$$\tau_A = \frac{3734,1}{0,15} * 10^{-3} = 24,89 \text{ N/mm}^2$$

5.3 Resumen resultados

Adjuntamos cuadro a modo de resumen de los resultados obtenidos en este apartado:

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA GLOBAL			
MÓDULOS			
Módulo de la sección	ZA	576,320	m3
Módulo en el fondo	ZAB	576,300	m3
Módulo en la cubierta	ZAD	7031,200	m3
TENSIONES TOTALES			
Tensión normal longitudinal	σ_A	0,116	N/mm2
Tensión cortante longitudinal	τ_A	24,890	N/mm2

6 ESCANTILLONADO

6.1 Escantillonado de chapas: espesor mínimo

Como parámetro previo al escantillonado local de cada zona del buque, tenemos que definir el espesor mínimo que han de cumplir todas las chapas, para confirmar que las chapas de fondo, costado y cubierta cumplen con el mínimo exigido por el reglamento.

El espesor mínimo de escantillonado se recoge en Ch 4, Sec 3, Art 2.2.1:

$$\text{- non-cargo ship: } 0,05 L_w k^{1/2} + 3,0$$

Donde:

$$L_w = 64,5\text{m}$$

$K=1$, factor de material

Tenemos un espesor mínimo de 6,28mm, que redondeamos al alza a **tmin=7mm**, ya que las chapas están normalizadas y no se fabrican espesores de 6,28mm, sino de 6 o 7mm.

6.2 Escantillonado de refuerzos secundarios: módulo mínimo

Para empezar, establecemos el coeficiente rigidizador del refuerzo, que será $m=12$ para refuerzos unidos en sus extremos.

Recordamos que el módulo de corrosión para el acero es de $\lambda=1,1$ y calculamos el módulo mínimo de la sección, que será común para todos los refuerzos secundarios de nuestra estructura:

Ch 4, Sec 4, Art 2.2.1:

$$\text{for steel secondary stiffener: } 0,2 L_w k + 4$$

Entonces; **Zmin=17,1cm³**

6.3 Escantillonado de refuerzos primarios: espesor mínimo

Para el escantillonado de los refuerzos primarios nos apoyamos en el BV NR 600, Ch 4, Sec 5, Art 2.2.1:

Table 1 : Minimum web thickness for floors and bottom longitudinal girders

		From aft to $0,7L_w$	From $0,7L_w$ to fore
Steel	Single bottom	$(5,5+0,05L_w k^{1/2})n_2 C_T$	$(4+0,05L_w k^{1/2})n_2 C_T$
	Double bottom	$(4+0,04L_w k^{1/2})n_2 C_T$	
Aluminium	Single and double bottom	$1,1 n_2 (L_w+10)^{1/2}$	

where:

n_2	: Navigation coefficient to be taken equal to:	L_w	: $L_w = 0,5 (L_{wl} + L_{HULL})$
	unrestricted navigation: 1	K	: Material factor k, as defined in Ch 1, Sec 2
	summer zone: 0,95	C_T	: Draught coefficient taken equal to:
	tropical zone: 0,9		$C_T = 0,7 + (3T/L_w)$ for $L_w \leq 25m$
	coastal area: 0,9		$C_T = 0,85 + (2T/L_w)$ for $25m < L_w \leq 40m$
	sheltered area: 0,85		$C_T = 1$ for $40m < L_w$
	sea going launch: $0,65 + 0,008L_w$		
	launch: 0,65		

Este espesor mínimo será de aplicación para las esloras, que son refuerzos primarios del tipo T.

Los refuerzos serán de acero, y nuestro buque no tiene doble casco, entonces:

$C_t=1$

$K=1$

$L_w=65,5m$

$n_2=1$, para navegación en aguas libres

Entonces:

$t_{min} = 9mm$

Refuerzo primario: espesor mínimo		
C_t	1,000	
K	1,000	
L_w	65,500	mm
n_2	1,000	
t	8,775	mm

6.4 Escantillonado local de la cubierta resistente

La cubierta resistente de este buque será la cubierta principal, situada a 6,6m de altura sobre la línea base

Los elementos de esta zona son las esloras, refuerzos primarios que se apoyan sobre los puntales, los baos, que son los refuerzos secundarios transversales y las chapas de la cubierta resistente.

Acercas del siguiente cuadro, tenemos que aclarar que la s de las esloras es la separación entre puntales, es decir, la separación longitudinal (5 claras de cuadernas), y $l=5000\text{mm}$ es la separación en sentido de la manga (transversal).

Escantillonado de la cubierta resistente		
	s	l
Chapas cubierta	600	5000
Baos (Ref. secundario)		5000
Esloras (Ref. primario)	3000	5000

6.4.1 Escantillonado de la chapa de cubierta

En este apartado calcularemos el espesor de la chapa de cubierta dado por formulación, y tenemos que confirmar que se cumpla el requisito del espesor mínimo.

Para escantillonar la chapa de cubierta necesitamos conocer el espaciado entre los refuerzos:

La dimensión l de las chapas será $l=5000\text{mm}$, que es la separación entre esloras, es decir, la separación transversal

La dimensión s de las chapas de cubierta será $s=600\text{mm}$, que es el espaciado entre cuadernas.

Calculamos entonces la relación de aspecto del panel de placas, utilizando la siguiente fórmula:

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

La relación de aspecto resulta ser $\mu=1,07 < 1$, por lo que aceptamos que $\mu=1$

El coeficiente de corrosión de estas chapas será de $\lambda=1,1$ por ser de acero.

Entonces, calculamos el espesor de la chapa de cubierta apoyándonos en la formulación de espesores como caso general: BV 600 NR, Ch 4, Sec 3, Art 2.2.2:

$$t = 22,4 \lambda n_p \mu s \sqrt{\frac{p}{\sigma_{locam}}}$$

where:

- p :
- local sea pressures or internal pressures, in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3 and Ch 3, Sec 4, or
 - bottom impact pressure for flat bottom forward area, in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3, [3.2], or
 - bottom slamming pressure for planing hull, p_{sl} , in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3, [3.3]

- n_p :
- Coefficient to be taken equal to:
- local sea pressures or internal pressures:
 - for longitudinally framed steel plating:
 $n_p = 0,67$
 - for transversely framed steel plating:
 $n_p = 0,77$
 - for steel transverse bulkhead:
 $n_p = 0,67$
 - for aluminium plating, whatever the frame system:
 $n_p = 1,00$
 - bottom impact pressure for flat bottom forward area and for bottom slamming pressure for planing hull:
 - for steel plating: $n_p = 0,77$
 - for aluminium plating: $n_p = 0,85$

Donde:

$N_p = 0,77$

$P = 9,4 \text{ N/m}^2$, la mayor de las presiones a las que se ve sometida esta cubierta ($z = 6,6 \text{ m} =$

σ_{locam} la obtenemos apoyándonos en Ch2, Sec 3, Art 2.2.:

Table 2 : Permissible local stresses σ_{locam} for plating under local loads

Loading case	Plating	Framing	Permissible value of σ_{locam}	
			for steel structure	for aluminium structure
Local sea and internal pressures	Plating not contributing to the global strength	transverse	0,70 R	0,70 R
		longitudinal		
	Plating contributing to the global strength	transverse	0,50 R	0,45 R
		longitudinal	0,60 R	0,65 R
Local dynamic sea pressures (bottom slamming for planing hull, or bottom impact pressure for flat bottom forward area, or side shell impact)	All type of plating	all type of framing	0,75 R	0,75 R
	Flat forward bottom plating		0,90 R	0,90 R
Flooding loads	Plating not contributing to the global strength	transverse	0,75 R	0,80 R
		longitudinal	0,85 R	
	Plating contributing to the global strength	transverse	0,60 R	0,45 R
		longitudinal	0,70 R	0,70 R
Collision bulkhead	all type of framing	0,70 R	0,70 R	
Testing loads	All type of plating	all type of framing	0,85 R	0,90 R

Note 1: The platings contributing to the global strength are the continuous platings located between 0,3 L and 0,7 L and the continuous platings located in the platform of multihull.

Al Para todas las chapas aceptaremos una carga de prueba igual a $\sigma_{locam}=0,85 \cdot 235=199,75 \text{ N/mm}^2$.

Conocidos todos los datos, los sustituimos en la fórmula planteada y obtenemos que:

$$t = 22,4 * \lambda * np * \mu s * \sqrt{\frac{P}{\sigma_{locam}}}$$

Chapa cubierta		
s	600,000	mm
l	3000,000	mm
Relación de aspecto u	1,080	<1
σ_{locam}	164,500	N/mm ²
espesor	4,116	mm

Como $t=5\text{mm} < t_{\text{mín}}=7\text{mm}$ aceptamos el valor mínimo de **t=7 mm**

6.4.2 Escantillonado de refuerzos primarios de la cubierta resistente: esloras

Para el cálculo de las esloras, encontramos la formulación en Ch 4, Sec 4, Art 2.2.1.

En un apartado anterior ya calculamos el espesor mínimo del refuerzo, que será de $t=9\text{mm}$

Ahora, calculamos el momento de inercia del refuerzo, propuesto en Ch 4, Sec 5, Art 3.3.2:

3.3.2 The moment of inertia I , in cm^4 , of stiffeners of web of primary supporting members is to be not less than the value obtained from the following formula:

$$I = 11,4 st_w(2,5 \ell^2 - 2s^2) \frac{R_{eH}}{235}$$

where:

- ℓ : Length, in m, of the web stiffener (see Fig 7)
- s : Spacing, in m, of web stiffeners (see Fig 7)
- t_w : Web thickness, in mm, of the primary supporting member
- R_{eH} : Minimum yield stress, in N/mm^2 , as defined in Ch 1, Sec 2, of the material of the web of primary supporting member.

Siendo, $t=9\text{mm}$, $s=3000\text{mm}$ (separación longitudinal entre puntales) y $l=5.000\text{mm}$ (separación transversal entre puntales), tenemos:

$$\mathbf{I=13.697,1\text{cm}^4}$$

6.4.3 Escantillonado de refuerzos secundarios de la cubierta resistente: baos

Los baos son refuerzos secundarios horizontales de la cubierta resistente, y procedemos a dimensionarlos:

Ya hemos calculado anteriormente el módulo mínimo para refuerzos secundarios, que es $Z=17,1\text{cm}^3$.

Para este caso concreto, al ser un refuerzo horizontal, aplicamos la formulación propuesta en Ch 4, Sec 4, Art 2.2.2:

$$Z = 1000\lambda C_t \frac{ps\ell^2}{m\sigma_{locam}}$$

$$A_{sh} = 5\lambda C_t \frac{ps\ell}{\sigma_{locam}}$$

where:

p : Local sea pressures or internal pressures, in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3 and Ch 3, Sec 4, or

Bottom impact pressure for flat bottom forward area, in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3, [3.2], or

Bottom slamming pressure for planing hull, p_{sl} , in kN/m^2 , as defined in Ch 3, Sec 3, [3.3]

C_t : Reduction coefficient defined as follows:

- for sea pressures and internal pressure cases:

$$C_t = 1 - \frac{s}{2\ell}$$

- for other loading types:

$$C_t = 1,00$$

Tenemos, que la presión a soportar será de $9,4kN/m^2$, presión máxima que soportará la cubierta expuesta

$$\lambda=1,1$$

$$C_t=0,4$$

$$\sigma_{locam}=0.75*235=176,25kN/m^2$$

$$\text{Entonces, } A_{sh}=0,177 \text{ y } Z=18,38cm^3$$

Refuerzo secundario horizontal: bao		
s	600,000	mm
l	5000,000	mm
Ct	0,400	
σ_{locam}	176,250	N/mm2
Ash	0,117	
Z	18,382	cm2

6.5 Escantillonado local del fondo

En el fondo del buque tenemos, las chapas del fondo del casco, expuestas a las presiones dinámicas del mar, slamming, etc. Las vagras y varengas, que son refuerzos en forma de chapa, las cuales se aligerarán para permitir que el doble fondo se pueda utilizar para almacenar agua dulce, combustible, aguas negras, etc.

Sobre las vagras y varengas se disponen las chapas del doble fondo, que tienen que soportar la carga de las bodegas.

6.5.1 Escantillonado de la chapa de fondo

Aplicamos la formulación general de Ch 4, Sec 3, Art 2.2.2:

$$t = 22,4 * \lambda * np * \mu s * \sqrt{\frac{P}{\sigma_{locam}}}$$

Donde:

P=198,2kN/m2, presión dinámica del mar, que es la peor de las presiones que afecta a las chapas de fondo (Pmar>Pcarga líquida)

σ_{locam} la obtenemos apoyándonos en Ch2, Sec 3, Art 2.2. y aceptamos el valor de la carga de prueba, como en el apartado anterior:

$$\sigma_{locam} = 0,85 * 235 = 199,75 \text{ N/mm}^2$$

Chapa fondo		
s	600,000	mm
l	1500,000	mm
Relación de aspecto u	0,966	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm2
espesor	18,238	mm

Entonces, el espesor de las chapas de fondo será de **t=19mm**

6.5.1.1 Escantillonado de chapa de fondo expuesta a slamming

Además del cálculo genérico de chapas, calcularemos en este apartado las chapas que están expuestas a slamming, ya que tienen que soportar esta presión de slamming, que es superior a la presión normal del mar.

Aplicamos la formulación siguiente, que encontramos en Ch4, Sec 3, Art 2.2.3:

if $s \leq 0,6 \text{ m}$

$$t = 17,3 \sqrt{\frac{1}{l_{ssi}}} \lambda n_p \mu s \sqrt{\frac{p}{\sigma_{locam}}}$$

Recordamos que esta presión es igual a 357,16 kN/mm2 y sustituimos:

Chapa fondo slamming		
s	600,000	mm
l	1500,000	mm
lssi	0,960	
Relación de aspecto u	0,966	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm2
espesor	19,309	mm

Entonces, las chapas de fondo tendrán un espesor de **t= 20mm**, ya que tendrán que soportar la peor de las situaciones, que es este caso de slamming.

6.5.2 Escantillonado de las chapas de doble fondo

Se aplica la formulación para el caso general de chapas: Ch2, Sec 3, Art 2.2.2.

En este caso, la presión a soportar será la debida al mar $P=74,46\text{kN/m}^2$, que es mayor a la presión debida a la carga sólida en la bodega ($P_{\text{carga bodega}}=73,18\text{kN/m}^2$)

Entonces:

Chapa doble fondo		
s	600,000	mm
l	1500,000	mm
Relación de aspecto u	0,966	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm ²
espesor	11,088	mm

6.5.3 Escantillonado de refuerzos primario del fondo: vagras

Procedemos a escantillonar las vagras, que son chapas que actúan como refuerzos primarios del fondo.

Empleamos la formulación para el cálculo de chapas genérico:

Ch 4, Sec 3, Art 2.2.2:

$$t = 22,4 * \lambda * np * \mu s * \sqrt{\frac{P}{\sigma_{\text{locam}}}}$$

Donde:

$P=198,3\text{kN/m}^2$, presión dinámica del mar, peor de las presiones que soportarán estas chapas.

σ_{locam} la obtenemos apoyándonos en Ch2, Sec 3, Art 2.2. y aceptamos el valor de la carga de prueba, como en el apartado anterior:

$$\sigma_{\text{locam}}=0,85*235=199,75\text{N/mm}^2$$

vagra		
s	600,000	mm
l	1500,000	mm
Relación de aspecto u	0,705	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm ²
espesor	18,238	mm

Entonces, el espesor de las vagras será de **t=19mm**

6.5.4 Escantillado de refuerzos secundarios del fondo: varengas

Empleamos la misma formulación de para las vagras, ya que también son chapas. Las presiones a soportar son las mismas, solamente cambian las dimensiones:

varenga		
s	1500,000	mm
l	1500,000	mm
Relación de aspecto u	0,705	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm ²
espesor	13,325	mm

Entonces, **t varengas=14mm**

6.6 Escantillado local del costado

En el costado del buque tendremos cuadernas, que son refuerzos verticales secundarios que se extienden desde el doble fondo a la cubierta resistente; y las chapas del costado, que dimensionaremos inicialmente en este apartado, pero que después sufrirán un incremento de espesor por los requerimientos especiales de navegación de nuestro buque (ICE CLASS).

6.6.1 Escantillado de la chapa de costado

En procedimiento para calcular el espesor de esta chapa de costado es el mismo que para las demás chapas, que encontramos en Ch 2, Sec 3, Art 2.2.2, pero en este caso el valor de la presión es igual a $P=74,46\text{kN/m}^2$ (presión dinámica del mar a la altura de $z=1,5\text{m}$), y $\sigma_{locam}=199,75\text{kN/mm}^2$

Entonces:

Chapa costado		
s	600,000	mm
l	1500,000	mm
Relación de aspecto u	0,966	<1
σ_{locam}	199,750	N/mm ²
espesor	11,3	mm

El espesor de las chapas de costado será entonces de **t=12mm**

6.6.2 Escantillado de refuerzos secundarios del costado: cuadernas

Las cuadernas tienen unas dimensiones de $s=600\text{mm}$ (separación entre cuadernas) y $l=5100\text{mm}$, que es la altura desde el doble fondo (1,5m) a la cubierta resistente (6,6m)

Las cuadernas son refuerzos secundarios verticales, que podemos calcular según BV NR 600 Ch 4, Sec 4, Art. 2.2.2:

for vertical transverse stiffeners:

$$Z = 1000\lambda C_1 \frac{p_1 s \ell^2}{m_b \sigma_{locan}}$$

$$A_{sh} = 10\lambda C_1 \frac{p_2 s \ell}{m_s \sigma_{locan}}$$

where:

p_1, p_2 : Equivalent pressure, in kN/m^2 , as defined in Tab 1

m_b, m_s : End stiffener condition coefficients defined in Tab 1

C_1 : Reduction coefficient defined as follows:

- for sea pressures and internal pressure cases:

$$C_1 = 1 - \frac{s}{2\ell}$$

- for other loading types:

$$C_1 = 1,00$$

Table 1 : Equivalent pressures

End stiffener condition	P_1	m_b	P_2	m_s
Both ends fixed	$2 P_{\text{supper}} + 3 P_{\text{slower}}$	60	$3 P_{\text{supper}} + 7 P_{\text{slower}}$	20
Lower end fixed, upper end supported	$7 P_{\text{supper}} + 8 P_{\text{slower}}$	120	$9 P_{\text{supper}} + 16 P_{\text{slower}}$	40
Both ends supported	$P_{\text{supper}} + P_{\text{slower}}$	16	$P_{\text{supper}} + 2 P_{\text{slower}}$	6

Note 1:

$P_{\text{slower}}, P_{\text{supper}}$: Sea pressure or internal pressure as defined in Ch 3, Sec 3 or Ch 3, Sec 4, in kN/m^2 , calculated at lower end of the stiffener and at upper end of the stiffener respectively.

Siendo:

$C_t=0,94$

$P_1= 2 P_{\text{supper}} + 3 P_{\text{slower}}= 238,35\text{kN/m}^2$

$P_2=3 P_{\text{supper}} + 7 P_{\text{slower}}=540,47 \text{ kN/m}^2$

$M_b=60$

$M_s=20$

Entonces, $A_{sh}=43.348$ y **$Z=346,16\text{cm}^3$**

6.7 Resumen resultados escantillonado

Se adjunta una tabla a modo de resumen con los resultados que hemos obtenido:

	s	l	escantillonado	
Fondo				
Vagras	1500	1500	19,00	mm
Varengas	1500	1500	14,00	mm
Chapas doble fondo	600	1500	12,00	mm
Chapas fondo	600	1500	20,00	mm
Costado				
Chapas costados	600	1500	12,00	mm
Cuadernas	600	5100	364,17	cm3
Cubierta expuesta				
Baos	600	5000	18,38	cm3
Esloras	3000	5000	13.697,10	cm4
Chapas cubierta	600	5000	7,00	mm
Puntales				
Puntales	3000	5000		

6.8 Selección de chapas y refuerzos

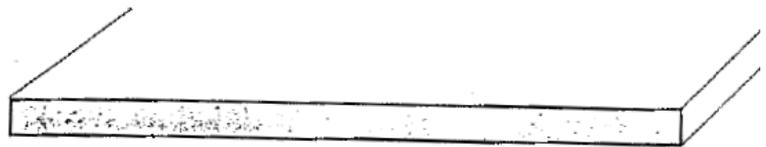
Conocidos los requerimientos de cada elemento de nuestra estructura, procedemos a dimensionarlos:

6.8.1 Chapas

En este apartado nos apoyamos en un catálogo de chapas normalizadas para escoger las chapas que formarán parte de la estructura de nuestro buque.

Mencionar que siempre se escogerá una chapa de un espesor mayor que el requerido, ya que, si escogiésemos una con menos espesor, no soportaría las presiones de diseño.

Universals



Dimension range and weight/m

Width a mm	Thickness s mm							
	12	14	15	20	25	30	35	40
150						35.3	41.2	47.1
175						41.2	48.1	55.0
200			23.6	31.4	39.3	47.1	55.0	62.8
225			26.5	35.3	44.2	53.0	61.8	70.7
250	23.6	27.5	29.4	39.3	49.1	58.9	68.7	78.5
275	25.9	30.2	32.4	43.2	54.0	64.8	75.6	86.4

**SMOOTH
CORNERS**

Entonces, nuestras chapas de cubierta, de los costados y del doble fondo, serán chapas normalizadas de 12mm. Las varengas serán de 14mm y las vagras y las chapas del fondo serán de 20mm.

6.8.2 Llanta bulbo

Las cuadernas serán del tipo llanta bulbo, cuyo catálogo se adjunta a continuación.

Tal y como hemos calculado, las cuadernas tendrán un módulo mínimo de 364,17cm³. Escogemos un tipo de llanta bulbo en base a este dato.



3.9. OTROS PERFILES COMERCIALES

3.9.1. LLANTAS BULBO LAMINADAS EN CALIENTE (CONSTRUCCIÓN NAVAL) UNE-EN 10067: 1997

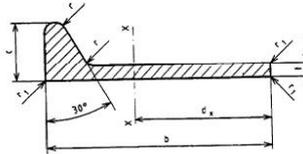


Tabla 3-29 Dimensiones, secciones transversales, masa por unidad de longitud, superficies laterales y características geométricas de las llantas con bulbo.

Dimensión nominal	Dimensiones para				Sección transversal A cm ²	Masa/ Ud de longitud G Kg/m	Superficie lateral U m ² /m	Distancia al centro de gravedad d cm	Características geométricas respecto al eje xx	
	b mm	t mm	c mm	r mm					I _x cm ⁴ momento de inercia	W _x cm ³ módulo elástico
80 x 5	80	5	14	4	5.41	4.25	0.189	4.9	33.87	6.91
80 x 6	80	6	14	4	6.21	4.88	0.191	4.78	38.7	8.1
100 x 7	100	7	15.5	4.5	8.74	6.68	0.236	5.87	85.3	14.5
100 x 8	100	8	15.5	4.5	9.74	7.65	0.238	5.78	94.3	16.3
120 x 6	120	6	17	5	9.32	7.32	0.276	7.21	133	18.5
120 x 7	120	7	17	5	10.52	8.26	0.278	7.07	149	21
120 x 8	120	8	17	5	11.72	9.2	0.28	6.96	165	23.6
140 x 7	140	7	19	5.5	12.43	9.75	0.32	8.32	241	29
140 x 8	140	8	19	5.5	13.83	10.85	0.322	8.18	266	32.5
140 x 10	140	10	19	5.5	16.63	13.05	0.326	7.99	315	39.5
160 x 7	160	7	22	6	14.6	11.46	0.365	9.66	373	38.6
160 x 8	160	8	22	6	16.2	12.72	0.367	9.5	411	43.3
160 x 9	160	9	22	6	17.8	13.97	0.369	9.37	449	47.9
160 x 11	160	11	22	6	21	16.49	0.373	9.16	522	57
180 x 8	180	8	25	7	18.86	14.8	0.411	10.89	609	55.9
180 x 9	180	9	25	7	20.66	16.22	0.413	10.73	664	61.8
180 x 10	180	10	25	7	22.46	17.63	0.415	10.59	717	67.7
180 x 11	180	11	25	7	24.26	19.04	0.417	10.47	770	73.5
200 x 9	200	9	28	8	23.66	18.57	0.457	12.12	942	77.7
200 x 10	200	10	28	8	25.66	20.14	0.459	11.96	1017	85.1
200 x 11	200	11	28	8	27.66	21.71	0.461	11.82	1091	92.3
200 x 12	200	12	28	8	29.66	23.28	0.463	11.69	1164	99.5
220 x 10	220	10	31	9	29	22.77	0.503	13.35	1396	105
220 x 11	220	11	31	9	31.2	24.5	0.506	13.19	1496	114
220 x 12	220	12	31	9	33.4	26.22	0.507	13.04	1595	122
240 x 10	240	10	34	10	32.49	25.5	0.547	14.77	1865	126
240 x 11	240	11	34	10	34.89	27.39	0.549	14.58	1997	137
240 x 12	240	12	34	10	37.29	29.27	0.551	14.42	2127	148
260 x 10	260	10	37	11	36.11	28.35	0.591	16.22	2434	150
260 x 11	260	11	37	11	38.71	30.39	0.593	16	2605	163
260 x 12	260	12	37	11	41.31	32.43	0.596	15.81	2774	175
280 x 11	280	11	40	12	42.68	33.5	0.637	17.44	3333	191
280 x 12	280	12	40	12	45.48	35.7	0.639	17.23	3647	206
280 x 13	280	13	40	12	48.28	37.9	0.641	17.04	3757	221
300 x 11	300	11	43	13	43.78	36.7	0.681	18.9	4192	222
300 x 12	300	12	43	13	49.79	39.09	0.683	18.7	4459	239
300 x 13	300	13	43	13	52.79	41.44	0.685	18.45	4722	256
320 x 12	320	12	46	14	54.25	42.6	0.728	20.12	5525	275
320 x 13	320	13	46	14	57.45	45.09	0.73	19.89	5849	294
320 x 14	320	14	46	14	60.85	47.6	0.732	19.68	6168	313
340 x 12	340	12	49	15	58.84	46.2	0.772	21.69	6757	313
340 x 13	340	13	49	15	62.24	48.86	0.774	21.34	7540	335
340 x 14	340	14	49	15	65.54	51.5	0.776	21.1	7459	367
370 x 13	370	13	53.5	16.5	69.7	54.7	0.84	23.54	9469	402
370 x 14	370	14	53.5	16.5	73.4	57.6	0.842	23.29	9960	429
370 x 15	370	15	53.5	16.5	77.1	60.5	0.844	23.06	10483	456
400 x 14	400	14	58	18	81.48	63.96	0.908	25.49	12924	507
400 x 15	400	15	58	18	85.48	67.1	0.91	25.24	13573	538
400 x 16	400	16	58	18	89.49	70.2	0.912	25	14211	568
430 x 14	430	14	62.5	19.5	89.7	70.6	0.975	27.7	16460	594
430 x 15	430	15	62.5	19.5	94.19	73.9	0.976	27.46	17249	629
430 x 17	430	17	62.5	19.5	102.79	80.7	0.98	26.95	18853	700
430 x 19	430	19	62.5	19.5	111.39	87.4	0.984	26.53	20413	770
430 x 20	430	20	62.5	19.5	115	90.8	0.986	26.3	21180	804

Unión de Almacenistas de Hierros de España, C/ Príncipe de Vergara, 74 – 28006 Madrid
 Tfno: 91 411 06 98 Fax: 91 411 18 34 Web: www.uahe.es E-mail: uahe@retemail.es
 NOTA: Fuente básica empleada Normativa facilitada por AENOR (www.aenor.es)

Optamos por perfiles tipo llanta bulbo de 370x13 mm2

6.8.1 Perfiles en T

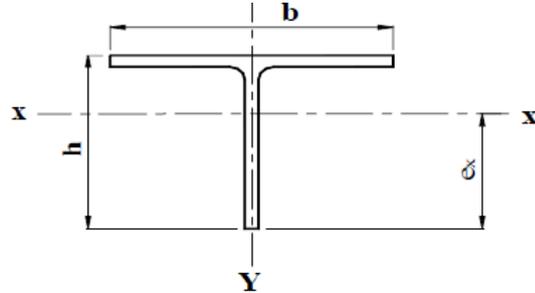
Las esloras y los baos de nuestra estructura serán refuerzos tipo T.

Los baos tendrán un módulo mínimo de 18,38cm³

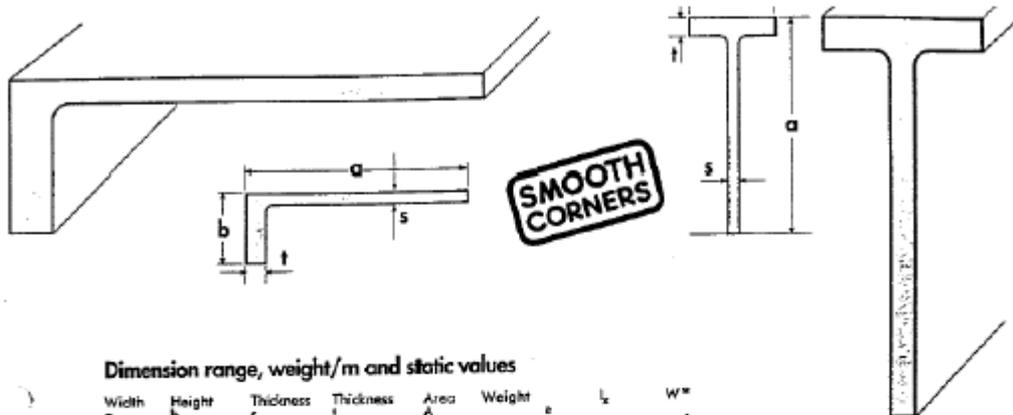
Las esloras tendrán un momento de inercia mínimo de 13.697,1cm⁴

Adjuntamos perfiles normalizados:

**T - SECTION
 Half I.P.E.**



1/2 IPE No.	Weight kg/m	Area cm ²	A _{web} cm ²	Dimensions		Axis X-X					Axis Y-Y			Surface Area	
				h mm	b mm	I _x cm ⁴	S _{xb} cm ³	S _{xt} cm ³	r _x cm	e _x cm	I _y cm ⁴	S _{yt} cm ³	r _y cm	U _m x10 ² m ² /m	U _t m ² /m
80	3.00	3.82	1.32	40	46	4.80	1.58	5.00	1.12	3.04	4.24	1.84	1.05	16.40	54.80
100	4.05	5.15	1.82	50	55	10.3	2.70	8.66	1.41	3.81	7.95	2.89	1.24	20.00	49.50
120	5.20	6.62	2.36	60	64	19.3	4.20	13.79	1.71	4.60	13.80	4.32	1.45	23.70	45.60
140	6.45	8.21	2.97	70	73	33.2	6.14	20.49	2.01	5.38	22.40	6.15	1.65	27.50	42.60
160	7.89	10.10	3.63	80	82	52.9	8.57	28.75	2.29	6.16	34.10	8.34	1.84	31.10	39.40
180	9.40	12.00	4.35	90	91	80.3	11.5	39.17	2.59	6.95	50.40	11.1	2.05	34.90	37.10
200	11.20	14.20	5.12	100	100	117	15.1	52.00	2.87	7.75	71.20	14.2	2.24	38.40	34.30
220	13.10	16.70	5.95	110	110	165	19.3	67.35	3.15	8.55	100.2	18.6	2.48	42.40	32.40
240	15.40	19.80	6.83	120	120	227	24.3	86.31	3.41	9.37	142.0	23.7	2.69	46.00	30.00
270	18.00	23.00	8.24	135	135	346	32.8	116.50	3.88	10.53	210.0	31.1	3.02	52.00	28.80
300	21.10	26.90	9.89	150	150	509	43.6	153.31	4.35	11.68	302.0	40.3	3.35	58.00	27.50
330	24.60	31.30	11.51	165	160	717	55.8	196.44	4.78	12.85	394.0	49.3	3.55	62.50	25.50
360	28.50	36.40	13.38	180	170	992	70.8	255.01	5.22	14.11	521.0	61.3	3.79	67.50	23.60
400	33.20	42.20	16.04	200	180	1450	93.7	320.80	5.86	15.48	659.0	73.4	3.95	73.50	22.20
450	38.80	49.40	19.78	225	190	2220	129	420.45	6.70	17.22	838.0	88.4	4.12	80.50	20.70
500	45.30	57.80	23.87	250	200	3260	172	542.43	7.52	18.99	1070	107.0	4.31	87.00	19.20
550	52.80	67.20	28.62	275	210	4670	225	689.81	8.33	20.73	1330	127.0	4.45	94.00	17.70
600	61.20	78.00	33.72	300	220	6500	288	868.98	9.13	22.52	1690	154.0	4.66	101.00	16.60



Dimension range, weight/m and static values

	Width a mm	Height b mm	Thickness s mm	Thickness t mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	L_x cm ⁴	W_x cm ³
Sections	315	100	12	15	51.0	40.8	19.6	5329	764
	340	120	12	15	57.0	45.6	21.6	6995	946
	370	120	12	20	66.0	52.8	24.2	9523	1233
	395	120	12	20	71.0	56.8	25.1	11083	1360
	425	120	12	25	78.0	62.4	28.2	14750	1682
	450	120	12	25	81.0	64.8	29.0	17200	1893
	455	120	12	30	87.0	69.6	30.7	18630	2118
	460	120	12	35	93.0	74.4	31.6	19900	2350
	475	120	12	25	84.0	67.2	31.0	20010	2030
	525	120	12	25	90.0	72.0	33.8	26000	2330
525	150	12	25	97.5	78.0	35.1	28420	2685	
530	150	12	30	105.0	84.0	36.4	30590	3026	
535	150	12	35	112.5	90.0	37.5	32590	3364	
575	150	12	25	103.5	82.8	37.9	36420	3033	
585	150	12	35	118.5	94.8	40.5	41710	3775	
625	150	12	25	109.5	87.6	40.7	45700	3395	
630	150	12	30	117.0	93.6	42.1	49110	3799	
635	150	12	35	124.5	99.6	43.4	52260	4200	
625	200	12	25	122.0	97.6	42.8	50440	4096	
630	200	12	30	132.0	105.6	44.3	54120	4636	
635	200	12	35	142.0	113.6	45.7	57450	5172	
Angles and T-Sections	675	200	12	25	128.0	102.4	45.7	62190	4602
	685	200	12	35	148.0	118.4	48.7	70810	5782
	725	200	12	25	134.0	107.2	48.5	75510	5054
	715	200	12	35	154.0	123.2	51.7	85940	6319

Plate cross sectional area 100 cm²

Butt/Fillet welded Full penetration

Plate cross sectional area 150 cm²

Orders must include the following measurements: a x b x s x t.
 Standard lengths 8 - 18 m, Other lengths by special agreement.

By special agreement other dimensions and combinations

Los baos serán perfiles tipo T de 110x110 mm², y las esloras de 425x120 mm²

6.8.2 Resumen elementos normalizados

	s	l	escantillonado		Tipo elemento	Dimensiones normalizadas	
Fondo							
Vagras	1500	1500	19,00	mm	chapa	20,00	mm
Varengas	1500	1500	14,00	mm	chapa	14,00	mm
Chapas doble fondo	600	1500	12,00	mm	chapa	12,00	mm
Chapas fondo	600	1500	20,00	mm	chapa	20,00	mm
Costado							
Chapas costados	600	1500	12,00	mm	chapa	12,00	mm
Cuadernas	600	5100	364,17	cm3	Llanta bulbo	370x13	
Cubierta expuesta							
Baos	600	5000	18,38	cm3	T	110x110	
Esloras	3000	5000	13.697,10	cm4	T	425x120	
Chapas cubierta	600	5000	7,00	mm	chapa	12,00	mm
Puntales							
Puntales	3000	5000					

7 REQUISITOS ADICIONALES RELACIONADOS CON LA NOTACIÓN DE SERVICIO DEL BUQUE PROYECTO

Al tratarse de un buque pesquero destinado a faenar en mares del norte, lo proyectamos para que cumpla con los requisitos de la ICE CLASS IC. Esta normativa da unas directrices a seguir para la construcción de aquellos buques que naveguen en condiciones de poco hielo, como podría ser el caso de la zona polar antártica, donde podemos encontrarnos condiciones climatológicas adversas.

La ICE CLASS IC establece que el buque proyecto deberá disponer de un cinturón reforzado en la obra viva para poder enfrentarse a estas condiciones de hielo.

El reforzado se encontrará tanto en las cuadernas como en el forro exterior.

-En las cuadernas, a una altura entre 0,6 por debajo de la línea de flotación mínima hasta 1m por encima de la flotación máxima.

-En el forro exterior, además de las chapas que ya hemos calculado, tendremos que disponer chapas de 14mm a modo de refuerzo entre 0,5m por debajo de la línea de flotación mínima y 0,4m por encima de la línea de flotación máxima.

Nuestras chapas de costado tienen un espesor de $t=12\text{mm}$, obtenido por formulación. Si a este valor le sumamos el refuerzo propuesto de 14 mm nos quedaría una chapa de 26mm. Entonces, el espesor de la chapa de costado será de $t=26\text{mm}$, ya que está normalizado.

Tras este comentario actualizamos la tabla de escatillonado final.

8 ESCANTILLONADO DEFINITIVO

Tras los requisitos mencionados debidos a la notación de clase, adjuntamos la tabla actualizada con los elementos normalizados:

	s	l	escantillonado		Tipo elemento	Dimensiones normalizadas	
Fondo							
Vagras	1500	1500	19,00	mm	chapa	20,00	mm
Varengas	1500	1500	14,00	mm	chapa	14,00	mm
Chapas doble fondo	600	1500	12,00	mm	chapa	12,00	mm
Chapas fondo	600	1500	20,00	mm	chapa	20,00	mm
Costado							
Chapas costados	600	1500	12+ice class=26mm	mm	chapa	30,00	mm
Cuadernas	600	5100	364,17	cm3	Llanta bulbo	370x13	
Cubierta expuesta							
Baos	600	5000	18,38	cm3	T	110x110	
Esloras	3000	5000	13.697,10	cm4	T	425x120	
Chapas cubierta	600	5000	12,00	mm	chapa	12,00	mm
Puntales							
Puntales	3000	5000					

9 BIBLIOGRAFÍA

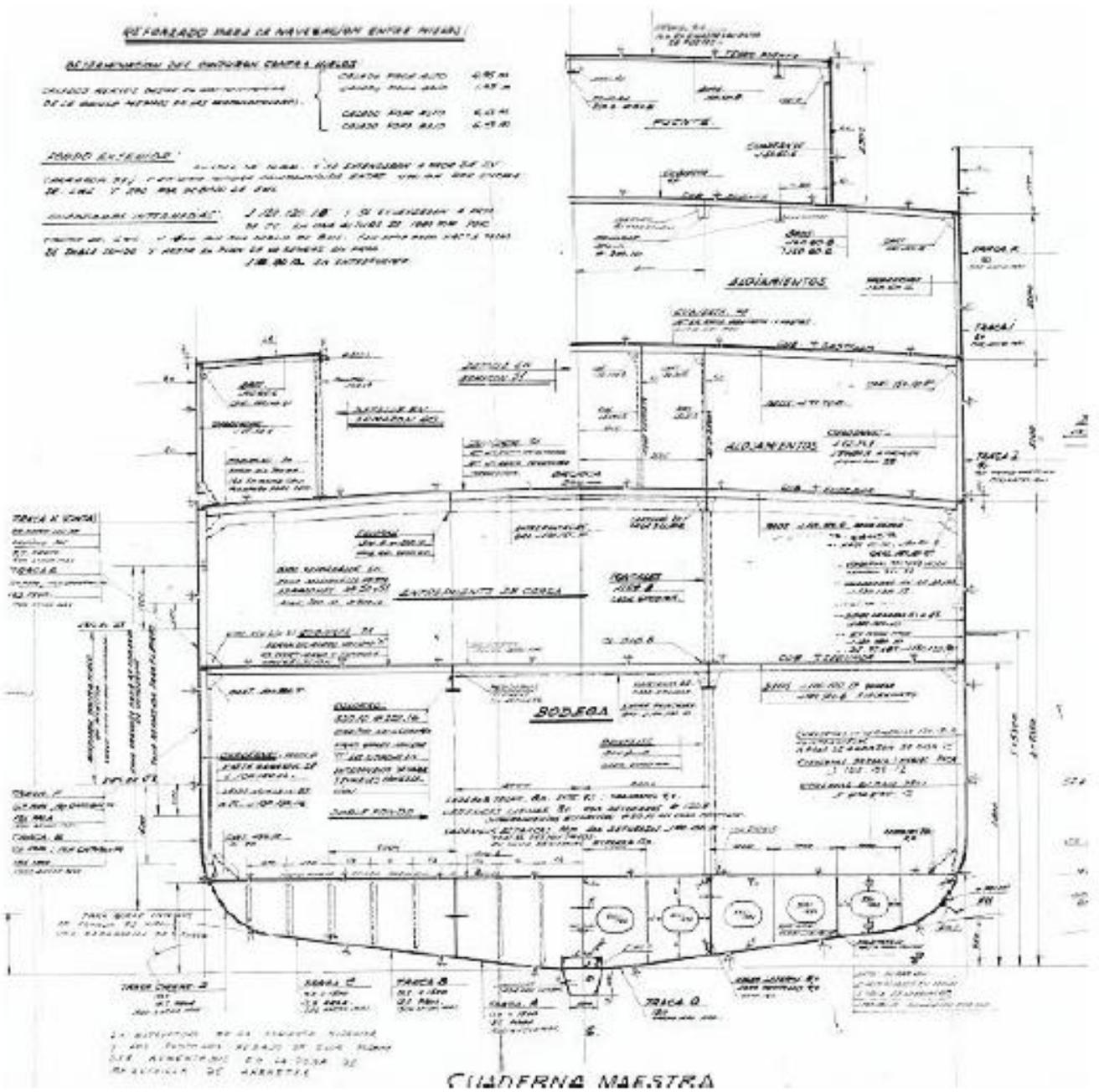
Apuntes de la asignatura “Proyectos de buques y artefactos marinos II”, EPS, Ferrol, UDC.

Bureau Veritas NR 600, 2018

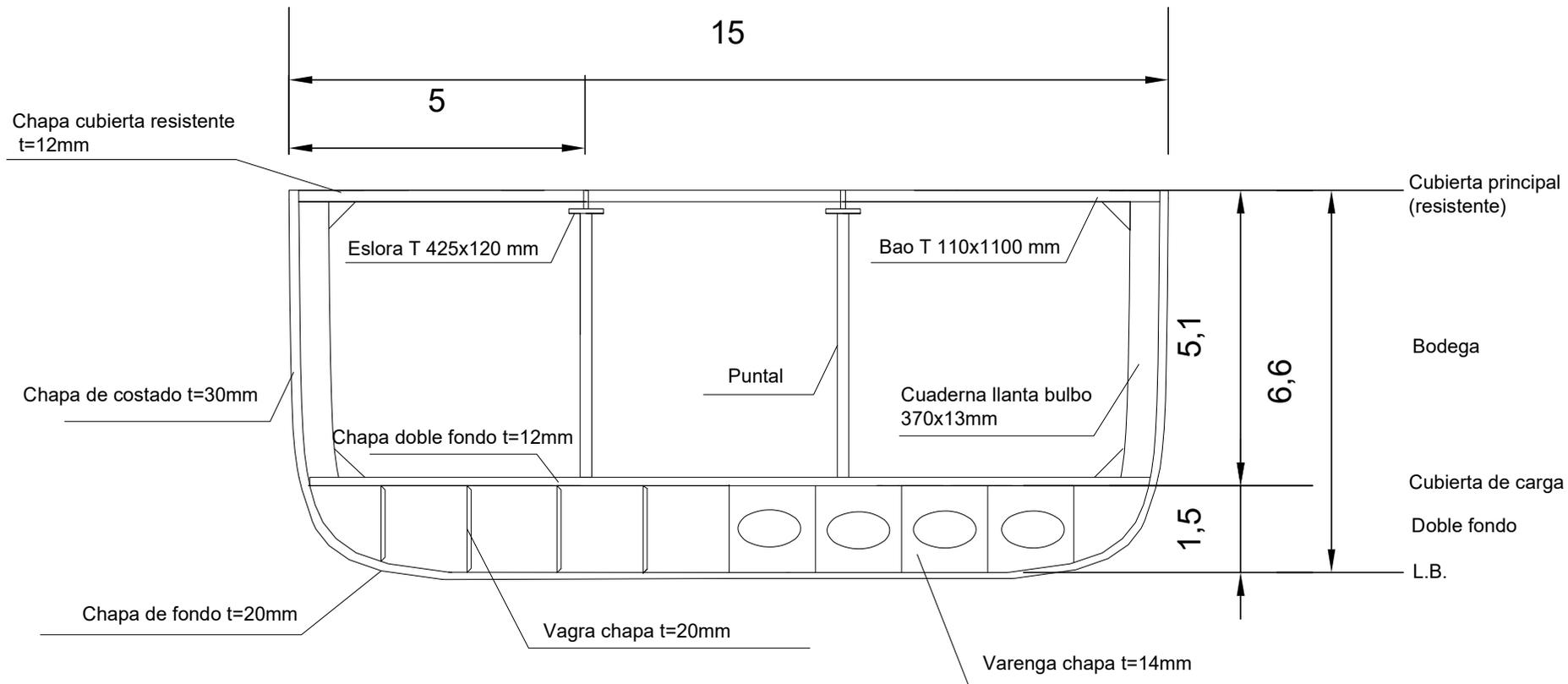
Bureau Veritas 467 NR ICE CLASS, 2020

Prontuario UAHE-2001. Perfiles comerciales

10 ANEXO I: CUADERNA MAESTRA DE REFERENCIA



11 ANEXO II: PLANO DE LA CUADERNA MAESTRA



Separación entre cuadernas s=600mm
 Altura del doble fondo: 1.500mm
 Puntal a la cubierta principal 6.6m
 Manga máxima: 15m

INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA		EPS FERROL
CUADERNO 8		
ARRASTRERO CONGELADOR 1500M3		UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCALA 1:100	PLANO CUADERNA MAESTRA	
		CARLA FUENTES LORENZO